BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka pada laporan tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil pencarian dan penelusuran literatur ilmiah melalui berbagai *platform* jurnal, seperti *Google Scholar*, *ScienceDirect*, dan jurnal terindeks *Scopus*. Proses pencarian dilakukan dengan menggunakan kata kunci yang relevan dengan permasalahan utama yang telah diidentifikasi, yaitu kerusakan mesin dan target produksi tidak tercapai. Tujuan kajian literatur berdasarkan masalah tidak kurangnya mesin yang beroperasi karena tingkat kerusakan tinggi adalah menganalisis penyebab terjadinya permasalahan, tindakan yang dilakukan melalui suatu metode dan *tools*, dan perancangan yang dilakukan. Tinjauan pustaka harus dipastikan relevan dengan permasalahan yang terjadi pada objek tugas akhir ini.

Pemilihan literatur dilakukan secara selektif dengan mempertimbangkan kesesuaian konteks industri, pendekatan metode yang digunakan, serta relevansi terhadap permasalahan yang dihadapi perusahaan. Pemilihan literatur juga dipertimbangkan berdasarkan sistem produksi dan strategi pengolahan. Tinjauan pustaka ini memperoleh dasar konseptual dan metodologi yang menjadi landasan dalam merancang solusi terintegrasi untuk mengatasi permasalahan. Literatur yang dianalisis selanjutnya dirangkum dan dibandingkan untuk mengidentifikasi kelebihan, kekurangan, serta peluang pengembangan metode yang paling sesuai dengan kondisi operasional Pabrik Kelapa Sawit PT Limpah Sejahtera. Tinjauan pustaka berdasarkan masalah kurangnya jumlah mesin yang beroperasi yang disebabkan oleh kerusakan mesin, dijelaskan pada sub sub bab 2.1.1.

2.1.1 Jumlah Mesin Beroperasi Sesuai Standar Kapasitas Pengolahan

Permasalahan jumlah mesin beroperasi yang kurang dari standar penggunaan yaitu 4 mesin merupakan kondisi yang ditinjau dari dampaknya terhadap kapasitas pengolahan. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada output proses, tetapi juga dapat mempengaruhi efektivitas operasional secara keseluruhan. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, jumlah mesin beroperasi yang tidak tersedia umumnya dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan, seperti efektivitas sistem *monitoring* proses, keandalan mesin, pelaksanaan pemeliharaan, ketersediaan *sparepart*, dan pengelolaan data kerusakan. Analisis tersebut perlu didukung dengan tinjauan lebih lanjut terhadap kerusakan mesin sebagai faktor utama yang ditinjau dalam ketersediaan mesin.

Tinjauan pustaka dicari berdasarkan relevansi rumusan masalah sumber dengan rumusan masalah di Pabrik Kelapa Sawit PT Limpah Sejahtera. Penelitian yang dilakukan oleh Ramadani & Rosyidi (2025) menemukan permasalahan terkait produktivitas pada proses produksi *sparepart* motor di UMKM IMVSPEEDSHOP yang ditandai dengan tidak tercapainya target produksi akibat kerusakan mesin dan gangguan proses, sehingga jumlah mesin dan peralatan yang dibutuhkan tidak tersedia. Penelitian tersebut menggunakan *Objective Matrix* (OMAX) untuk mengukur produktivitas, *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan faktor yang paling berpengaruh, serta *Root Cause Analysis* (RCA) dengan *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendahnya produktivitas disebabkan oleh kurangnya pelatihan operator, tidak adanya SOP yang jelas, tidak terjadwalnya perawatan mesin, serta lemahnya pengendalian kualitas. Solusi yang diusulkan meliputi penyusunan SOP, pelatihan operator, pene rapan *Preventive maintenance*, dan perbaikan lingkungan kerja. Penerapan solusi tersebut diharapkan mampu meningkatkan produktivitas dan membantu perusahaan memenuhi target produksi yang telah ditetapkan.

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesenjangan antara penelitian Ramadani & Rosyidi (2025) dengan kondisi aktual pada Pabrik Kelapa Sawit PT Limpah Sejahtera. Penelitian Ramadani & Rosyidi (2025) ditinjau dari pemenuhan permintaan pasar, yang berarti kapasitas produksi dapat berubah sesuai permintaan pasar. Kondisi tersebut berbeda dengan kondisi aktual di PKS PT Limpah Sejahtera yang menerapkan sistem *continuous process* yang menandakan bahwa operasional pabrik dan fasilitas yang tersedia menjadi dasar untuk pencapaian target produksi. Kemungkinan perubahan ketetapan kapasitas produksi tidak dipengaruhi dari permintaan atau target pencapaian produksi, tetapi dipengaruhi dari kuantitas bahan baku yang masuk ke pabrik.

Cesidio dkk. (2026) meneliti permasalahan variasi proses dan ketidakstabilan parameter operasional sehingga mengakibatkan tidak tersedianya mesin dan peralatan, rendahnya produktivitas mesin, dan tingginya variasi output. Penelitian tersebut mengusulkan perancangan *framework sistem monitoring* terintegrasi yang menggabungkan *Statistical Process Control* (SPC), *control chart*, analisis kapabilitas proses, *root cause analysis*, dan *dashboard* visualisasi. Proses perancangan dilakukan melalui identifikasi parameter kritis, pengolahan data historis, pengembangan model *monitoring*, serta integrasi indikator performansi untuk mendukung pengambilan keputusan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mendeteksi variasi proses secara lebih cepat, menyediakan indikator performansi yang terukur, serta meningkatkan

stabilitas dan efisiensi sistem produksi, sehingga peralatan dan jumlah mesin selalu tersedia. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *monitoring* berbasis parameter proses dapat digunakan untuk mendukung pengendalian dan peningkatan performansi produksi.

Terdapat perbedaan antara penelitian Cesidio dkk. (2026) dengan kondisi aktual di Pabrik Kelapa Sawit PT Limpah Sejahtera. Penelitian tersebut berfokus pada pengendalian variasi proses yang dipengaruhi oleh ketidakpastian permintaan dan keragaman spesifikasi produk, sedangkan pada PKS ketidaktercapaian kapasitas pengolahan disebabkan oleh kerusakan mesin dan ketidaktercapaian parameter proses pengolahan. Sistem produksi PKS menggunakan *continuous process* sehingga tidak terdapat variasi produk yang menjadi sumber utama permasalahan seperti pada objek penelitian Cesidio dkk. (2026). Meskipun demikian, tahapan perancangan berupa identifikasi parameter kritis proses, pengolahan data historis, analisis performansi, dan pengembangan sistem pendukung keputusan tetap relevan untuk diterapkan pada PKS.

2.1.2 Mekanisme *Monitoring* dan Inspeksi Kondisi Mesin

Tinjauan pustaka sistem *monitoring* dilakukan untuk melakukan tinjauan yang relevan permasalahan yang terjadi di PKS PT Limpah Sejahtera. Permasalahan yang ditinjau pada sub sub bab ini terkait ketersediaan mekanisme *monitoring* dan inspeksi mesin untuk operator. Berdasarkan sub-sub bab 2.1.1 didapatkan beberapa tinjauan pustaka yang membahas masalah kerusakan mesin dan gangguan pengolahan yang berdampak langsung pada kapasitas pengolahan dan dilakukan tinjauan berdasarkan pendekatan analisis masalah lain melalui kata kunci kerusakan mesin dan sistem *monitoring*.

Hendrawati & Hakim (2024) melakukan penelitian yang relevan permasalahan di PKS PT Limpah Sejahtera, khususnya terkait keterbatasan mekanisme *monitoring* dan inspeksi mesin yang menyebabkan keterlambatan deteksi abnormalitas proses serta pengambilan keputusan operasional. Hendrawati & Hakim (2024) mengidentifikasi bahwa sistem pemantauan konvensional masih bersifat lokal, kurang terintegrasi, dan memiliki waktu jeda integrasi data yang lama. Kondisi tersebut menghambat pencapaian indikator kinerja produksi seperti efisiensi proses, kualitas output, dan stabilitas operasi. Berdasarkan tinjauan masalah tersebut, permasalahan disebabkan karena keterbatasan akses data secara *real-time*. Hendrawati & Hakim (2024) merumuskan solusi untuk permasalahan tersebut yaitu perancangan sistem *monitoring* dan pengendalian beban produksi berbasis *Internet of Things* (IoT). Pengembangan sistem dilakukan menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan *System*

Development Life Cycle (SDLC) yang meliputi tahap perencanaan, analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi.

Tools yang digunakan oleh Hendrawati & Hakim (2024) yaitu *hardware,* antara lain PLC Mitsubishi FX1N-24MR, HMI Haiwell C7S-W IoT Cloud, sensor *proximity* Omron E2E-X2F1, platform HaiwellCloud, perangkat lunak GX *Work*s2, serta Haiwell SCADA *Designer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mentransmisikan data secara *real-time* dengan latensi hanya 0,66–1,58 detik, lebih cepat dibandingkan sistem konvensional yang umumnya memiliki latensi di atas 5 detik. Sistem yang dirancang juga mampu memberikan peringatan dini terhadap penyimpangan kondisi operasi sehingga mendukung respon yang lebih cepat, meningkatkan kontinuitas proses produksi, dan memperbaiki efektivitas pengambilan keputusan operasional. Solusi tersebut dapat mengurangi resiko kegagalan mesin dan memberikan peringatan ketika terdapat kondisi abnormalitas mesin, sehingga mengurangi tingkat kerusakan dan menjaga mesin agar selalu tersedia.

Penelitian Hendrawati & Hakim (2024) tersebut dilakukan pada sistem konveyor laboratorium dengan dukungan infrastruktur digital yang relatif lengkap. Kondisi tersebut berbeda dengan PKS PT Limpah Sejahtera yang masih memiliki keterbatasan integrasi data, belum memiliki sistem *monitoring*, dan masih bergantung pada inspeksi manual. Penelitian Hendrawati & Hakim (2024) lebih menekankan aspek teknologi dalam analisis masalah dan perancangan solusi yang dilakukan. Gap yang ditemukan adalah penelitian terdahulu berfokus pada integrasi teknologi digital tingkat tinggi. Kondisi tersebut berbeda dengan kebutuhan PKS yang lebih membutuhkan mekanisme dan sistem kerja untuk mendukung sistem *monitoring* dan inspeksi mesin oleh operator dengan menyesuaikan sumber daya dan fasilitas PKS yang belum menerapkan teknologi digital.

Penelitian lain juga dilakukan oleh Maolin (2022) pada robot industri untuk proses *grinding* dan *polishing* blok karbon anoda di perusahaan X, Shandong Yantai, China, mengidentifikasi permasalahan utama berupa tidak diketahuinya parameter *monitoring*. Maolin (2022) juga menemukan permasalahan tidak adanya rencana pemeliharaan yang terstruktur, ketiadaan strategi diagnosis dan prediksi kerusakan, serta belum tersedianya *maintenance knowledge service*. Berdasarkan tinjauan terhadap permasalahan tersebut, penyebab masalah yang ditemukan adalah belum terintegrasinya sistem *monitoring* dan pemeliharaan yang mampu mendukung pengambilan keputusan perawatan secara berkelanjutan. Maolin (2022) merumuskan solusi yaitu perancangan *framework monitoring and maintenance* yang mengintegrasikan *predefined maintenance plan*, *fault diagnosis*, *fault prediction*, dan *maintenance knowledge service*. Perancangan tersebut dilakukan untuk meningkatkan

keandalan peralatan melalui pemantauan kondisi operasi, deteksi dini kerusakan, serta dukungan pengetahuan bagi operator. Perancangan dilakukan menggunakan metode *Predefined Maintenance Plans* yang terdiri atas tahapan *General Maintenance Bill of Material (BOM)*, *Customized BOM*, dan *Predefined Lifecycle Maintenance Plans*.

Perancangan oleh Maolin (2022) didukung dengan analisis risiko menggunakan *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) serta prediksi umur komponen menggunakan distribusi Weibull. Hasil perancangan menunjukkan bahwa *framework* yang dikembangkan mampu mendukung pemantauan kondisi robot secara berkelanjutan, melakukan diagnosis kerusakan, memprediksi potensi kegagalan, serta memberikan rekomendasi pemeliharaan yang tepat. Perancangan oleh Maolin (2022) relevan dengan kebutuhan *monitoring* dan *maintenance* di PKS, tapi pendekatan tersebut memiliki kompleksitas yang tinggi karena membutuhkan sistem *knowledge service* yang belum tersedia pada kondisi aktual perusahaan. Maolin (2022) juga lebih berfokus pada *predictive maintenance* berbasis data dan diagnosis lanjutan, sehingga masih terdapat kesenjangan berupa belum adanya perancangan aktivitas inspeksi harian yang sederhana dan mudah diterapkan operator untuk mendeteksi potensi kegagalan mesin sejak dini.

Perancangan oleh Hendrawati & Hakim (2024) dan Maolin (2022) merupakan tinjauan literatur untuk meninjau permasalahan terkait sistem pengendalian proses produksi untuk memastikan jumlah mesin yang beroperasi selalu tersedia, sehingga mencapai target produksi yang ditetapkan perusahaan. Tinjauan oleh Hendrawati & Hakim (2024) dan Maolin (2022) sudah relevan dan sesuai dengan permasalahan yang ditemukan di Pabrik Kelapa Sawit PT Limpah Sejahtera yaitu belum tersedia mekanisme *monitoring* dan inspeksi mesin untuk operator. Tinjauan tersebut menjadi dasar pendekatan dalam analisis permasalahan yang terjadi di PKS.

Purnama dkk. (2025) meninjau permasalahan tingginya kerusakan pada mesin stamping di PT. XYZ, sebuah perusahaan manufaktur komponen otomotif. Hasil observasi menunjukkan bahwa mesin stamping 2 mengalami kerusakan tertinggi, yaitu lebih dari 1.100 menit per bulan selama Januari–Maret 2025, sehingga menyebabkan pencapaian output produksi turun hingga di bawah 55% dari target yang ditetapkan. Purnama dkk. (2025) melakukan analisis menggunakan *Seven Tools of Quality Control*, penelitian mengidentifikasi bahwa permasalahan berasal dari kerusakan ringan yang berulang, seperti sensor yang kotor, kebocoran oli, kurangnya pelumasan, keausan komponen, baut yang longgar, serta penumpukan kotoran pada area kerja. Kondisi tersebut terjadi karena perusahaan belum memiliki sistem *monitoring* dan inspeksi yang terstandarisasi,

sementara aktivitas pemeliharaan sepenuhnya bergantung pada teknisi tanpa keterlibatan operator.

Purnama dkk. (2025) merumuskan solusi perancangan yaitu merancang sistem manajemen pemeliharaan berbasis *Autonomous Maintenance* (AM). *Autonomous Maintenance* adalah pilar pertama Total *Productive Maintenance* (TPM) yang memberdayakan operator untuk melakukan pembersihan, pelumasan, dan inspeksi ringan secara mandiri untuk mendeteksi kondisi abnormal sejak dini. Hasil penerapan sistem menunjukkan penurunan durasi kerusakan dari 225 menit menjadi 85 menit atau berkurang sebesar 62,2%, sehingga membuktikan bahwa penerapan *monitoring* dan inspeksi harian yang terstruktur mampu meningkatkan keandalan mesin serta mencegah berkembangnya gangguan ringan menjadi kerusakan yang lebih besar.

Singh et al (2022) meneliti rendahnya efektivitas mesin pada industri pembentukan logam yang ditandai oleh tingginya kejadian kerusakan, waktu *set-up*, *rejection rate*, serta rendahnya nilai OEE pada stasiun *rolling*, *cutting*, *bending*, dan *die punching*. Permasalahan tersebut disebabkan oleh sistem perawatan yang sepenuhnya bergantung pada departemen *maintenance* tanpa keterlibatan operator dalam aktivitas pemeliharaan dasar maupun inspeksi harian sehingga kerusakan kecil tidak terdeteksi sejak dini. Singh et al (2022) merancang dan mengimplementasikan Total Productive *Maintenance* (TPM) sebagai pendekatan peningkatan efektivitas peralatan melalui keterlibatan seluruh karyawan dalam kegiatan pemeliharaan. Evaluasi dilakukan menggunakan metode studi kasus dengan pengukuran *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) yang mencakup indikator *Availability*, *Performance Efficiency*, dan *Quality Rate*. Hasil implementasi TPM menunjukkan peningkatan efisiensi seluruh stasiun kerja sebesar 2–6%, disertai peningkatan *availability* mesin *rolling* dari 84,82% menjadi 89,71% dan *Quality rate* dari 95,33% menjadi 96,73% (Singh dkk., 2022).

Penelitian oleh Zhang & Cegla (2026) pada industri komponen hidrolik di China mengidentifikasi rendahnya efisiensi produksi akibat penerapan *breakdown maintenance* dan belum adanya strategi pemeliharaan yang sistematis. Tinjauan tersebut relevan dengan permasalahan di PKS PT Limpah Sejahtera. Zhang & Cegla (2026) merancang model *light Total Productive Maintenance (TPM)* yang terdiri atas tahapan *plan*, *improve*, dan *sustain* untuk membangun sistem pemeliharaan yang lebih terstruktur dan berkelanjutan. Penelitian menggunakan metode *action research* dengan pendekatan studi kasus, sedangkan alat bantu yang digunakan meliputi *Value Stream Mapping* (VSM), 5S, *Pareto Diagram*, *Fishbone Diagram*, *Five Why Analysis*, visual management, check*point* table, dan *monitoring* OEE. Evaluasi keberhasilan perancangan dilakukan menggunakan indikator *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

yang mengukur aspek *availability, performance,* dan *Quality*. Hasil implementasi menunjukkan peningkatan OEE dari 54,23% menjadi 66,90%, disertai meningkatnya partisipasi karyawan dalam aktivitas pemeliharaan dan terbentuknya budaya pemeliharaan yang lebih proaktif di perusahaan

Gliši (2024) mengidentifikasi permasalahan pada perusahaan manufaktur berupa kesulitan dalam memonitor kinerja keberlanjutan proses produksi karena belum adanya indikator yang tepat dan relevan untuk dipantau. Permasalahan tersebut disebabkan karena ketidakmampuan perusahaan dalam menentukan parameter proses yang paling berpengaruh terhadap indikator kinerja keberlanjutan sehingga sistem *monitoring* menjadi kurang efektif. Gliši (2024) merumuskan solusi yaitu perancangan *framework monitoring* berbasis *Key Performance Indicator* (KPI) yang dikembangkan melalui pendekatan *Bottom-up Methodology* untuk menghubungkan parameter proses dengan dampak lingkungan. Metode yang digunakan mengintegrasikan *Life Cycle Assessment* (LCA) ke dalam lima tahapan pengembangan *framework* serta didukung *tools* seperti *analytical process modeling*, *process simulation,* pemetaan hubungan parameter proses–inventori, dan kuesioner berbasis Excel untuk evaluasi indikator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *framework* yang dikembangkan mampu membantu perusahaan mengidentifikasi dan memilih indikator kinerja yang relevan sehingga sistem *monitoring* keberlanjutan proses produksi menjadi lebih efektif dan terarah (Gliši, 2024).

Mourtzis et al (2020) mengidentifikasi bahwa strategi pemeliharaan tradisional seperti *reactive* dan *preventive maintenance* belum mampu melakukan pemantauan kondisi mesin secara *real-time* maupun memprediksi kegagalan peralatan secara akurat. Kondisi tersebut menyebabkan *downtime* tidak terduga, peningkatan biaya perawatan, dan keterlambatan pengambilan keputusan. Permasalahan disebabkan karena belum optimalnya pemanfaatan teknologi digital yang mampu mengintegrasikan pengumpulan data, analisis kondisi mesin, dan visualisasi informasi pemeliharaan dalam satu sistem terpadu. Mourtzis et al (2020) merancang *Intelligent Predictive Maintenance and Remote monitoring Framework* yang memungkinkan pemantauan kondisi mesin secara *real-time* serta prediksi kegagalan sebelum kerusakan terjadi. *Framework* tersebut dikembangkan menggunakan metode *predictive maintenance* berbasis *Artificial Intelligence* (AI), pemanfaatan *Industrial Internet of Things* (IIoT) untuk akuisisi data sensor secara kontinu, serta teknologi *Mixed Reality* (MR) sebagai alat visualisasi interaktif kondisi peralatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu meningkatkan efektivitas *monitoring* dan pemeliharaan, mempercepat diagnosis kerusakan, memprediksi kegagalan mesin lebih dini, serta mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih akurat dan berbasis data.

Assad et al (2023) mengidentifikasi permasalahan utama berupa keterbatasan sistem pemeliharaan konvensional yang belum mampu melakukan pemantauan kondisi mesin secara *real-time* dan terintegrasi sehingga proses pemeliharaan masih cenderung reaktif. Tinjauan terhadap permasalahan tersebut menunjukkan bahwa keterlambatan deteksi penurunan performa peralatan dapat mengganggu kelancaran proses produksi. Assad et al (2023) menemukan bahwa permasalahan disebabkan karena belum terintegrasinya data kondisi mesin, sistem *monitoring*, dan analisis kesehatan peralatan dalam satu sistem digital yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Assad et al (2023) merancang konsep *digital health control system* untuk lingkungan *smart manufacturing* dengan memanfaatkan metode *condition monitoring*, *digital health assessment*, teknologi IIoT, serta sistem pengolahan data untuk memantau dan menganalisis kondisi mesin secara berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu meningkatkan efektivitas pemantauan kondisi mesin, mendukung deteksi dini potensi kerusakan, mempercepat pengambilan keputusan pemeliharaan, serta meningkatkan keandalan peralatan dan efisiensi proses manufaktur.

Ali dkk. (2024) meneliti sistem pengendalian kualitas terintegrasi pada lingkungan Industry 4.0 karena pengendalian kualitas masih dilakukan secara terpisah antara proses produksi dan inspeksi produk akhir sehingga kesalahan mesin maupun proses tidak terdeteksi secara cepat. Penelitian ini meninjau kualitas produk dan keandalan proses manufaktur yang disebabkan karena kurangnya integrasi antara sistem pemantauan kesehatan mesin (*machine health monitoring*) dan inspeksi kualitas produk. Ali dkk. (2024) merancang *intelligent quality control framework* yang mengintegrasikan *pre-production monitoring* dan *post-production inspection* dalam satu sistem terpadu. *Framework* tersebut menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan kondisi kerusakan mesin, *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk inspeksi kualitas produk berbasis *machine vision*, serta *Deep Learning-Based Quality Control* untuk pengendalian kualitas otomatis berbasis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *framework* mampu mendeteksi enam kondisi kerusakan pada sistem roda gigi motor induksi dan mengidentifikasi cacat produk secara otomatis dengan akurasi mendekati 99%, sehingga efektif mendukung sistem *quality control* cerdas pada lingkungan Industry 4.0.

Azamfirei dkk. (2023) mengidentifikasi bahwa sistem inspeksi kualitas pada industri manufaktur 4.0 masih memiliki keterbatasan dalam melakukan *monitoring* dan inspeksi secara menyeluruh, terintegrasi, serta adaptif terhadap perubahan proses produksi. Permasalahan yang ditemukan disebabkan karena belum tersedianya mekanisme inspeksi dan *monitoring* yang holistik serta kemampuan integrasi data dari berbagai

sumber untuk mendukung pengambilan keputusan. Azamfirei dkk. (2023) merancang *framework* inspeksi kualitas berbasis multi-layer *quality inspection* yang mengintegrasikan sumber daya, aktivitas, dan data dalam satu sistem. Perancangan *framework* menggunakan metode *Measurement System Analysis* (MSA) dan *Statistical Process Control* (SPC), dengan dukungan *tools* analisis data, integrasi spesifikasi desain, dan pemanfaatan data historis yang disusun dalam *resources layer*, *action layer*, dan data *layer*. Hasil perancangan menunjukkan bahwa *framework* yang diusulkan mampu membentuk sistem inspeksi kualitas yang lebih terstruktur, terintegrasi, dan adaptif sehingga memungkinkan *monitoring* serta pengendalian kualitas secara *real-time* selama proses maupun pada hasil akhir produksi (Azamfirei dkk., 2023).

Mekanisme berbentuk *framework monitoring* dan inspeksi kondisi mesin mendukung dalam memastikan mesin selalu tersedia yang ditinjau dari pengendalian proses produksi dan pencegahan kerusakan mesin sejak dini. Mekanisme *monitoring* dan inspeksi yang tidak terstruktur dan tidak efektif dapat menyebabkan keterlambatan dalam mengetahui kondisi proses aktual, sehingga berpotensi mempengaruhi keberhasilan pengolahan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa solusi yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah melalui perancangan sistem *monitoring* dan *maintenance* yang terintegrasi. Penggunaan *framework monitoring* berbasis parameter proses, *condition monitoring*, serta integrasi antara *monitoring* dan inspeksi kualitas terbukti mampu meningkatkan kecepatan deteksi gangguan, akurasi pengambilan keputusan, serta efektivitas pemeliharaan. Perancangan *framework monitoring* dan inspeksi yang sistematis dan melibatkan berbagai pihak dalam prosesnya menjadi langkah penting untuk meningkatkan keandalan proses pengolahan dan pencapaian kapasitas produksi.

2.1.3 Sistem Persediaan dan *Reliability*

Angelina dkk. (2020) melakukan penelitian pada masalah kerusakan mesin yang tinggi pada mesin Rovema 1 di divisi pangan perusahaan XYZ, dimana penyebab utamanya dikarenakan keterlambatan perbaikan akibat tidak tersedianya suku cadang kritis di gudang. Kondisi ini tentunya menghambat kelancaran produksi karena perbaikan mesin tertunda ketika komponen mengalami kerusakan. Dalam mengatasi masalah tersebut, peneliti memberikan solusi berupa penentuan kebutuhan *spare part* kritis menggunakan metode *Reliability Centered Spares* (RCS) dengan kombinasi proses *poisson*, serta melakukan penetapan kebijakan persediaan menggunakan metode *min-max stock.*

Deiwantara & Prastawa (2024) Melakukan penelitian terkait pengendalian *sparepart gearbox* di PT Indo Tambangraya Megah yang mengalami ketidaksesuain antara

permintaan dan stok akibat pola permintaan yang fluktuatif. Penelitian tersebut bertujuan untuk meningkatkan efektivitas perencanaan persediaan melalui peramalan permintaan dan penentuan kebijakan persediaan. Metode yang digunakan meliputi peramalan time series dengan beberapa alternatif metode, yaitu *double moving average, double exponential smoothing*, dan *Holt-Winter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Holt-Winter* menghasilkan tingkat kesalahan peramalan terkecil dengan nilai MAPE sebesar 1,83%. Penerapan metode tersebut yang dikombinasikan dengan perhitungan *safety stock* dan *reorder point* mampu membantu menjaga ketersediaan *spare part* secara lebih optimal.

Adelia & Mandala (2021) melakukan penelitian terkait pengendalian persediaan suku cadang pada bengkel Piaggio Vespa Nusa Dua yang mengalami *stockout* dan *overstock* akibat perencanaan persediaan yang belum optimal. Penelitian tersebut menggunakan analisis ABC, *Economic Order Quantity* (EOQ), *safety stock,* dan *reorder point* (ROP) untuk menentukan kebijakan persediaan yang lebih efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi metode tersebut mampu mengurangi risiko kekurangan maupun kelebihan persediaan serta meningkatkan efisiensi pengelolaan stok. Hasil analisis menunjukkan terdapat 78 jenis *sparepart* yang termasuk kategori A dan memerlukan pengendalian yang lebih ketat. Penerapan metode ini mampu menghasilkan total biaya persediaan lebih rendah dari metode yang digunakan perusahaan sebelumnya, yaitu dari Rp 139,799,338 menjadi Rp 112,423,730.

Fadhilah dkk. (2022) melakukan penelitian pengendalian persediaan bahan baku *Polyethylene Terephthalate* (PET) di PT. Penjalindo Nusantara yang mengalami risiko *stockout* akibat keterlambatan pengiriman bahan baku dan ketidakpastian kebutuhan material. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Economic Order Quantity* (EOQ) Probabilistik untuk menentukan kebijakan persediaan dengan mempertimbangkan ketidakpastian permintaan dan *lead time.* Sebelum dilakukan perhitungan EOQ, terdapat peramalan kebutuhan bahan baku berdasarkan data historis pembelian menggunakan metode *Exponential Smoothing.* Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah pemesanan yang optimal adalah 6.330 kg dengan *safety stock* sebesar 325 kg dan *reorder point* sebesar 3.055 kg. Penerapan EOQ Probabilistik terbukti mampu menjaga ketersediaan bahan baku, mengurangi risiko *stockout,* dan meningkatkan efektivitas persediaan.

Kosasih dkk. (2021) mendefinisikan pemeliharaan sebagai tindakan untuk mempertahankan atau mengembalikan suatu peralatan ke kondisi tertentu. Perancangan dilakukan pada pabrik sol sepatu pada bagian mesin *molding.* Perusahaan belum menerapkan sistem pemeliharaan yang baik, sehingga sering terjadi kerusakan

mesin produksi. Simulasi Monte Carlo diterapkan untuk penghematan biaya dan peningkatan kegunaan. Penelitian tersebut menerapkan metode FMEA yang digunakan untuk analisis penyebab permasalahan maupun kegagalan. Hasil menunjukkan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo terjadi penghematan pada komponen *nozzle* sebesar 24,54%, *oil seal* sebesar 54,63%, dan elemen pemanas *barrel* sebesar 21,51%.

Fahlevi dkk. (2023) melakukan penelitian perencanaan persediaan *spare part Bearing* dan Gasket di PT Pupuk Iskandar Muda yang masih menggunakan data permintaan tahun sebelumnya sehingga berisiko menimbulkan kekurangan maupun kelebihan stok. Penelitian ini menggunakan metode simulasi monte carlo untuk memprediksi kebutuhan *sparepart* berdasarkan data permintaan historis periode 2016-2020. Proses simulasi dilakukan dengan membentuk distribusi probabilitas permintaan, menghasilkan bilangan acak, dan melakukan simulasi kebutuhan pada periode berikutnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Simulasi Monte Carlo menghasilkan estimasi kebutuhan *Bearing* sebesar 9 EA dan Gasket sebesar 11 EA yang lebih mendekati permintaan aktual dibandingkan metode perusahaan. Nilai Standar Kesalahan Peramalan (SKP) yang lebih kecil menunjukkan bahwa metode Simulasi Monte Carlo mampu meningkatkan akurasi perencanaan persediaan dan mengurangi risiko *stockout*.

2.1.4 Sistem Informasi

Penelitian yang dilakukan oleh Diaz & Soares (2023) membahas perancangan sistem informasi dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* untuk mendukung implementasi *condition-based maintenance* dengan memanfaatkan data kondisi dan riwayat kerusakan mesin. Sistem yang dikembangkan mampu mengolah data operasional menjadi informasi yang relevan guna membantu sistem perawatan yang lebih tepat dan efisien. Dengan adanya sistem ini, proses identifikasi kerusakan menjadi lebih cepat dan akurat sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada intuisi teknisi, menekan *downtime*, serta meningkatkan keandalan sistem produksi secara keseluruhan.

Penelitian yang dilakukan oleh Kovacs dkk. (2023) berfokus pada implementasi *maintenance* berbasis data yang disebabkan oleh kurang optimalnya pengolahan data mesin dan sistem *maintenance* yang belum terintegrasi sistem informasi. Penelitian ini mengembangkan data-*driven maintenance*, pendekatan modular, dan pengembangan model *multi-level*. Sistem ini mengembang *data-driven maintenance* menggunakan data *availability,* analisis kemampuan, dan kebutuhan *maintenance.* Hasil menunjukkan *maintenance* menjadi lebih terstruktur, proses pengambilan keputusan menjadi lebih baik, dan implementasi industri 4.0 lebih mudah diterapkan di manufaktur.

Analisa yang dilakukan oleh Rahmadani dkk. (2021) membahas tentang perancangan sistem informasi manajemen pada departemen *maintenance* menggunakan metode SDLC untuk mengurangi waktu kerusakan mesin. Sistem yang dirancang mencakup laporan kerusakan, pengajuan perbaikan, permintaan suku cadang, hingga riwayat perbaikan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perancangan sistem informasi manajemen *maintenance* menggunakan metode SDLC mampu meningkatkan efektivitas pengelolaan data kerusakan mesin, mempercepat proses penanganan *maintenance*, sistem yang dirancang juga mampu menyediakan dokumentasi histori perbaikan mesin secara terintegrasi sehingga memudahkan proses *monitoring* dan evaluasi kinerja mesin produksi.

Perancangan sistem informasi berbasis WEB yang dilakukan oleh Hariansyah & Saragih (2021) bertujuan untuk menyelesaikan objek permasalahan seperti keterlambatan penjadwalan *maintenance,* pencatatan kerusakan yang masih manual, dan data histori *maintenance* yang sulit dipantau. Perancangan ini menggunakan metode *waterfall* model yang memiliki tahapan seperti *analyze, design, coding, testing,* dan *maintenance. Tools* yang digunakan pada metode ini adalah PHP dan MySQL untuk membuat algoritma program *website.* Hasil dari perancangan tersebut adalah informasi histori kerusakan lebih mudah dipantau dan mendukung pengambilan keputusan *maintenance.*

Perancangan sistem informasi perawatan yang dirancang oleh Falah dkk. (2023) di PT Petro Artha Indo memberikan solusi yang efektif dalam menyediakan informasi penting bagi pengemudi. Informasi tersebut dapat diakses melalui aplikasi ini mencakup proses pengerjaan, kerusakan atau perawatan kendaraan, serta riwayat kerusakan atau perawatan kendaraan. *Tools* yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan *appsheet.* Hasil dari perancangan ini adalah lebih mudah memahami dan mengkomunikasikan proses bisnis yang terlibat dalam sistem informasi perawatan.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka kriteria sistem *monitoring*

No	Identitas Penulis	Objek	Masalah	Solusi	Metode	*Tools*	Hasil
1	Hendrawati & Hakim (2024)	Industri Manufaktur	Ketidakefisienan sistem pemantauan beban karena keterbatasan teknologi konvensional yang berdampak pada performansi mesin	Perancangan sistem konveyor berbasis IoT	*Research and development (R&D), System Development Life Cycle* (SDLC)	*Programmable Logic Controller* (PLC), *Human_Machine Interface* (HMI), *Haiwell SCADA Designer, HaiwellCloud Platform*	Waktu Transmisi data antara 0,66 hingga 1,58 detik
2	Maolin (2022)	Robot industri di perusahaan blok kabon	Parameter *monitoring* tidak diketahui, tidak terdapat rencana perawatan yang terstruktur, tidak ada strategi diagnosis dan prediksi kerusakan, dan tidak terdapat *knowledge service*.	Perancangan *framework monitoring* dan pemeliharaan mesin	*Predefined Maintenance*	*Failure Mode and Effect Analysis*	*Framework* yang dirancang mampu melakukan diagnosis kerusakan, memprediksi potensi kegagalan, dan memberikan rekomendasi pemeliharaan.
3	Purnama et al (2025)	Perusahaan manufaktur komponen otomotif	Tingginya lamanya durasi kerusakan mesin stamping yang disebabkan karena keterlambatan perbaikan kerusakan ringan yang berulang dan kurang perawatan harian.	Perancangan sistem manajemen *maintenance* melalui pendekatan *Autonomous Maintenance* (AM)	*Autonomous Maintenance* (AM)	*Seven tools of Quality Control* (*check sheet, histogram, pareto chart, fishbone diagram, control chart, scatter diagram*, dan stratifikasi)	Total *downtime* menurun drastis menjadi 85 menit, atau turun sebesar 62,2% dari kondisi awal
4	Singh dkk. (2022)	Industri manufaktur modern	Tingginya *downtime* mesin, tingginya waktu *set-up*, tingginya *rejection rate*, serta rendahnya nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) di seluruh stasiun kerja	Perancangan sistem *Maintenance* melalui *Total Productive Maintenance*	*Autonomous Maintenance* (AM)	*Key Performance Indicator Masurement* melalui OEE	Meningkatkan efisiensi seluruh stasiun kerja dalam kisaran 2% hingga 6%
5	Zhang & Cegla (2026)	Perusahaan manufaktur produksi komponen hidrolik di China	Rendahnya efisiensi produksi akibat kinerja peralatan yang kurang optimal. Kondisi tersebut disebabkan oleh pemeliharaan mesin dalam pengolahan yang masih bersifat *breakdown maintenance*.	Perancangan model TPM	*Action Research* dan TPM *Implementation Model (Plan-Improve-Sustain)*	*Value Stream Mapping*, 5S, *Pareto Diagram*, *Fishbone Diagram, Five Why, Visual Management, Checkpoin Table,* dan OEE *monitoring System*	Hasil implementasi model TPM menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada kinerja peralatan produksi

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka kriteria sistem *monitoring* (lanjutan)

No	Identitas Penulis	Objek	Masalah	Solusi	Metode	*Tools*	Hasil
6	Mourtzis dkk. (2020)	Perusahaan Industri	Strategi *reactive* dan *preventive maintenance* belum mampu memberikan pemantauan kondisi mesin secara *real-time* maupun memprediksi kegagalan mesin secara akurat	Perancangan *framework intelligent predictive maintenance* dan *remote monitoring*	*Predictive maintenance*	Teknologi *Industrial Internet of Things* (IIoT)	Sistem ini memungkinkan operator untuk melakukan pemantauan kondisi mesin secara *real-time* dan melakukan diagnosis kerusakan secara lebih cepat.
7	Assad dkk. (2023)	Industri manufaktur konvensional	Tidak tersedia sistem yang mampu melakukan pemantauan kondisi mesin secara *real-time* serta memberikan informasi kesehatan peralatan secara terintegrasi dalam lingkungan *smart manufacturing*	Perancangan konsep *digital health control* system untuk pemeliharaan mesin pada lingkungan *smart manufacturing*	*Condition monitoring*	Teknologi *Industrial Internet of Things* (IIoT)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *digital health control* yang dikembangkan mampu meningkatkan efektivitas proses pemantauan kondisi mesin dan mendukung strategi pemeliharaan yang lebih proaktif.
8	Ali dkk. (2024)	Industry 4.0	Keterbatasan sistem pengendalian kualitas yang mampu melakukan deteksi kesalahan secara otomatis pada seluruh tahapan produksi	Perancangan inteleg ent *framework* dengan fungsi pengendalian kualitas	*Pre-production Quality control*	*Artifical Neural Network* (ANN)	*Training accuracy* sebesar 98, 8% dan *validation accuracy* sebesar 98, 7%
9	Azamfirei dkk. (2023)	Industri manufaktur 4.0	Permasalahan utama yang ditemukan adalah metode inspeksi kualitas masih bersifat terbatas, tidak fleksibel, dan belum mampu melakukan *monitoring* menyeluruh dan terintegrasi	Perancangan *framework* sistem inspeksi kualitas berbasis *multy-layer quality inspection*	*Measurement System Analysis* (MSA) dan *Statistical Process Control* (SPC)	Alat yang memiliki kemampuan analisis data, integrasi spesifikasi desain, dan pemanfaatan data historis	*Framework* yang diusulkan mampu membentuk sistem inspeksi kualitas yang lebih terstruktur dan adaptif terhadap kondisi proses produksi

Tabel 2.2 Ringkasan tinjauan pustaka kriteria *maintenance* dan persediaan

No	Identitas Penulis	Objek	Masalah	Solusi	Metode	*Tools*	Hasil
1	Angelina dkk. (2020)	PT XYZ (Mesin Rovema 1)	Durasi perbaikan lama akibat *spare part* kritis tidak tersedia	Penentuan kebutuhan *spare part* kritis dan kebijakan stok	*Reorder Cycle System, spare part based strategy* dan Min-Max Stock	Microsoft Excel, *Poisson Process, Min-Max, Risk matrix*	Kebutuhan *steel band* 18 unit dan *brass insert unit*, stok min 10
2	Deiwantara & Prastawa (2024)	*Sparerpart* di PT Indo Tambangraya Megah	Permintaan *gearbox* berada pada *level* minimum yang berpotensi menyebabkan *overstock* dan ketidakakuratan perencanaan persediaan	Merancang sistem peramalan kebutuhan *spare part* serta penentuan jumlah pembelian optimal	Time series forecasting dan *safety stock* serta *reorder point*	Microsoft Excel	Metode Holt Winter multiplikatif yang menghasilkan kebutuhan berkisar 60-63 pcs/bulan serta *safety stock* 1 pcs dan ROP 15 pcs untuk *service level* 90%, *safety stok* 2 pcs dan ROP 16 pcs untuk *service level* 95%
3	Adelia & Mandala (2021)	Bengkel Piaggio Vespa Nusa Dua	*Stockout* pada beberapa spare-part penting dan *overstock* pada item lain.	Pengendalian persediaan suku cadang.	*Economic Order Quantity* (EOQ), *Safety stock*, dan *Reorder point* (ROP)	Microsoft Excel	Metode tersebut mampu mengelompokkan *sparepart* berdasarkan tingkat kepentingannya, mengurangi risiko *stockout*, serta menekan biaya penyimpanan,
4	Fadhilah dkk. (2022)	Bahan baku plastik PET PT Penjalindo Nusantara	Keterlambatan pengiriman bahan baku dari vendor sehingga berpotensi kekurangan persediaan yang menggangu produksi	Menentukan jumlah pemesanan optimal, *Safety Stock*, dan *Reorder Point* menggunakan EOQ Probabilistik	*Exponential Smoothing*, EOQ Probabilistik, *Safety Stock*, dan *ROP*	Microsoft Excel	pemesanan optimal sebesar 6.330 kg, *Safety Stock* 325 kg, dan *Reorder Point* 3.055 kg sehingga dapat mengurangi risiko *stockout*.
5	Kosasih dkk. (2021)	Mesin *Rotary Injection Molding*	Waktu dan biaya pemeliharaan mesin yang tinggi	Simulasi dalam optimasi pemeliharaan	Simulasi	*Statistics software*	Penurunan penggunaan komponen sebesar 24%

Tabel 2.2 Ringkasan tinjauan pustaka kriteria *maintenance* dan persediaan (lanjutan)

No	Identitas Penulis	Objek	Masalah	Solusi	Metode	*Tools*	Hasil
6	Fahlevi dkk. (2023)	Persediaan *spare part Bearing* dan Gasket PT Pupuk Iskandar Muda	Perencanaan persediaan hanya berdasarkan data tahun sebelumnya sehingga kurang akurat dan berpotensi menyebabkan kekurangan stok	Melakukan peramalan kebutuhan *spare part* menggunakan Simulasi Monte Carlo	Simulasi Monte Carlo berbasis distribusi probabilitas permintaan historis	Microsoft Excel	Hasil simulasi menunjukkan kebutuhan *Bearing* sebesar 9 EA dan Gasket sebesar 11 EA dengan nilai kesalahan peramalan lebih kecil dibanding metode perusahaan sehingga perencanaan persediaan menjadi lebih akurat.

Tabel 2.3 Ringkasan tinjauan pustaka kriteria sistem informasi

No	Identitas Penulis	Objek	Masalah	Solusi	Metode	*Tools*	Hasil
1	Diaz & Soares (2023)	Sistem Mesin Kapal	Pengambilan keputusan belum berbasis data	Mengembangkan *Decision Support System* berdasarkan data historis.	*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*	Algoritma dan Microsoft Excel	Ambang batas antara perbaikan aktual dan prediksi ±5%
2	Kovacs dkk. (2023)	Manufaktur Produksi Perhiasan	*Maintenance* belum terintegrasi dengan digitalisasi industri	Mengembangkan data-*drive maintenance* dan pengembangan multi *level*	Multi-*level* model	Microsoft model	Hasil menunjukkan *maintenance* menjadi lebih terstruktur, proses pengambilan keputusan menjadi lebih baik, dan implementasi industri 4.0 lebih mudah diterapkan di manufaktur.
3	Rahmadani dkk. (2021)	PT Louis Alain	Tidak tersedianya suku cadang yang di perlukan dikarenakan tidak tersedianya sistem informasi	Perancangan sistem informasi manajemen dengan metode SDLC	SDLC *(Software/Systems Development Life Cycle*	Microsoft Access	Riwayat kerusakan setiap unit mesin dapat dilampirkan pada sistem informasi
4	Hariansyah & Saragih (2021)	PT. Multi Engineering Perkasa	Keterlambatan Jadwal *Maintenance,* Pencatatan Kerusakan yang Masih Manual, dan Data Historis *Maintenance* yang Sulit untuk di *monitoring*	Perancangan sistem informasi berbasis WEB	Model *Waterfall*	PHP dan MySQL	Hasil dari perancangan tersebut adalah informasi histori kerusakan lebih mudah dipantau dan mendukung pengambilan keputusan *maintenance.*

Tabel 2.3 Ringkasan tinjauan pustaka kriteria sistem informasi (lanjutan)

No	Identitas Penulis	Objek	Masalah	Solusi	Metode	*Tools*	Hasil
5	Falah dkk. (2023)	PT Petro Artha Indo	Belum terdapat aplikasi yang digunakan untuk merekap proses pengerjaan, kerusakan atau perawatan kendaraan, serta riwayat kerusakan atau perawatan kendaraan	Memberikan solusi efektif dengan merancangan suatu sistem informasi perawatan.	RAD	*Google Appsheet*	Hasil dari perancangan ini memudahkan *workshop* untuk melakukan *monitoring* penyebab kerusakan, proses perawatan dan merekap riwayat kerusakan.

2.2 Dasar Teori

Perancangan solusi yang dipilih pada bagian ini, disusun berdasarkan dasar teori yang relevan dan saling terintegrasi, yang bersumber dari berbagai literatur akademik. Perancangan *framework monitoring* dan inspeksi kondisi mesin merujuk pada penerapan salah satu pilar TPM, yaitu AM sebagai metode untuk perancangan *framework.* Dasar teori mengenai konsep TPM merujuk pada mata kuliah Sistem Produksi (STIN24302). Perancangan *framework* juga menerapkan konsep proses bisnis dan sebagai dasar perancangan dan gambaran sistem. Dasar teori mengenai proses bisnis merujuk pada mata kuliah Proses Bisnis dan Sistem Informasi (STIN40502). Teori yang digunakan untuk perancangan kebijakan persediaan komponen berbasis *reliability* merujuk pada mata kuliah Sistem Produksi (STIN24302) dan Riset Operasi 2 (STIN35503). Teori yang digunakan pada sistem informasi perbaikan adalah Proses Bisnis dan Sistem Informasi (STIN40502) dan Pemrograman Terapan (STIN22302).

2.2.1 Indikator Kinerja Pemeliharaan

Pengukuran kinerja pemeliharaan merupakan aspek penting dalam manajemen pemeliharaan karena memberikan informasi yang diperlukan untuk mengevaluasi, mengendalikan, dan meningkatkan aktivitas pemeliharaan di suatu organisasi. Sistem pengukuran kinerja pemeliharaan bertujuan untuk menyediakan dasar informasi bagi manajemen dalam proses pengambilan keputusan terkait efektivitas dan efisiensi kegiatan pemeliharaan. Informasi ini diperlukan untuk memastikan bahwa kegiatan pemeliharaan mampu mendukung tujuan operasional organisasi dan menjaga keandalan sistem produksi (Ben-Daya dkk., 2009).

Pengukuran kinerja yang dijelaskan di atas merupakan salah satu komponen penting yang digunakan adalah indikator kinerja pemeliharaan atau *Maintenance Performance Indicators (MPI)*. Indikator kinerja pemeliharaan digunakan untuk mengevaluasi tingkat efektivitas kegiatan pemeliharaan yang dilakukan dalam suatu sistem produksi. MPI merupakan ukuran kinerja yang dapat menghasilkan nilai kuantitatif untuk menunjukkan tingkat kinerja suatu proses atau sistem dengan mempertimbangkan satu atau lebih aspek yang relevan. Dengan kata lain, indikator ini berfungsi sebagai alat ukur yang mampu menggambarkan performa kegiatan pemeliharaan secara objektif dan terukur (Ben-Daya dkk., 2009).

Indikator kinerja pemeliharaan pada dasarnya merupakan hasil dari penggabungan beberapa metrik atau ukuran kinerja yang lebih spesifik. Pemilihan indikator yang digunakan dalam sistem pemeliharaan bergantung pada bagaimana sistem pengukuran kinerja pemeliharaan dikembangkan di dalam organisasi. Indikator tersebut dapat

digunakan untuk berbagai tujuan, seperti pelaporan kinerja keuangan, pemantauan kinerja karyawan, penilaian kepuasan pelanggan, evaluasi aspek kesehatan, keselamatan dan lingkungan (*Health, Safety, and Environment*/HSE), serta pengukuran efektivitas peralatan seperti *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* (Ben-Daya dkk., 2009).

Indikator kinerja pemeliharaan perlu dikaitkan dengan input proses dan output proses agar dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai kinerja sistem pemeliharaan. Apabila hubungan antara input dan output tersebut dirancang dengan baik, maka indikator kinerja dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai aspek penting dalam pengelolaan pemeliharaan, seperti alokasi sumber daya, pengendalian proses, perbaikan di area bermasalah, kontribusi kegiatan pemeliharaan terhadap kinerja perusahaan, serta evaluasi kinerja personel pemeliharaan. Indikator kinerja juga dapat digunakan sebagai alat pembanding (*benchmarking*) antar unit organisasi maupun antar perusahaan dalam industri yang sama (Ben-Daya dkk., 2009).

Indikator kinerja pemeliharaan berperan dalam mendukung proses pemantauan dan pengendalian kinerja organisasi secara berkelanjutan. Tanpa adanya indikator kinerja yang jelas, akan sulit bagi organisasi untuk melakukan perencanaan, pengendalian, serta peningkatan berkelanjutan terhadap proses pemeliharaan. Banyak industri yang mengembangkan kerangka kerja pengukuran kinerja pemeliharaan yang disesuaikan dengan karakteristik operasional masing-masing organisasi. Indikator kinerja ini umumnya mencakup aspek efisiensi, efektivitas, kualitas, ketepatan waktu, keselamatan, dan produktivitas sistem pemeliharaan (Ben-Daya dkk., 2009).

Indikator kinerja pemeliharaan merupakan elemen penting dalam sistem manajemen pemeliharaan karena berfungsi untuk mengukur, memantau, dan mengevaluasi kinerja aktivitas pemeliharaan secara sistematis. Penggunaan indikator yang tepat dapat membantu organisasi dalam mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan, meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, serta memastikan bahwa kegiatan pemeliharaan memberikan kontribusi yang optimal terhadap pencapaian tujuan operasional dan strategis perusahaan.

2.2.2 *Production rate*

Processing rate atau *production rate* merupakan ukuran yang menunjukkan kemampuan suatu sistem produksi, mesin, atau stasiun kerja dalam menghasilkan produk dalam periode waktu tertentu. Konsep ini penting dalam perancangan fasilitas manufaktur karena digunakan untuk menentukan kapasitas sistem produksi, kebutuhan mesin, serta keseimbangan aliran produksi antar stasiun kerja.

Menurut Meyers dan Stephens (2013), *production rate* atau sering disebut sebagai *plant rate* merupakan laju produksi yang harus dicapai oleh sistem produksi agar target output dapat terpenuhi dalam waktu produksi yang tersedia. *Production rate* biasanya dinyatakan sebagai jumlah unit produk yang dihasilkan per satuan waktu, seperti unit per jam atau unit per menit. Penentuan *production rate* menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan jumlah mesin, tenaga kerja, serta konfigurasi sistem produksi pada fasilitas manufaktur.

Dalam praktiknya, *production rate* tidak hanya bergantung pada target produksi, tetapi juga dipengaruhi oleh waktu produksi efektif yang tersedia. Waktu produksi efektif diperoleh dari waktu kerja total yang telah dikurangi dengan waktu tidak produktif seperti waktu istirahat, rapat, ataupun gangguan operasional lainnya. Tingkat efisiensi sistem produksi juga harus diperhitungkan karena sistem produksi jarang beroperasi pada kondisi efisiensi maksimum. Perencanaan *production rate* perlu dilakukan penyesuaian terhadap faktor efisiensi operasional agar target produksi dapat dicapai secara realistis (Meyers & Stephens, 2013).

Production rate juga berkaitan erat dengan waktu proses pada setiap operasi dalam sistem produksi. Setiap mesin atau *workstation* memiliki waktu proses tertentu untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Dalam sistem produksi yang bersifat berurutan, seperti lini produksi atau *transfer line*, kecepatan produksi keseluruhan sistem sangat dipengaruhi oleh operasi yang memiliki waktu proses paling lama. Setiap stasiun kerja saling bergantung satu sama lain sehingga keterlambatan pada satu proses dapat memperlambat seluruh aliran produksi (Tompkins dkk., 2010).

Dalam sistem produksi juga perlu mempertimbangkan faktor kualitas proses seperti tingkat produk cacat (*scrap*) dan produk yang harus diperbaiki kembali (*rework*). Apabila terdapat produk cacat dalam proses produksi, maka jumlah unit yang harus diproses akan lebih besar daripada jumlah produk akhir yang diinginkan. *Production rate* perlu disesuaikan dengan tingkat *scrap* dan *rework* agar perencanaan kapasitas produksi tetap dapat memenuhi target output yang ditetapkan (Meyers & Stephens, 2013).

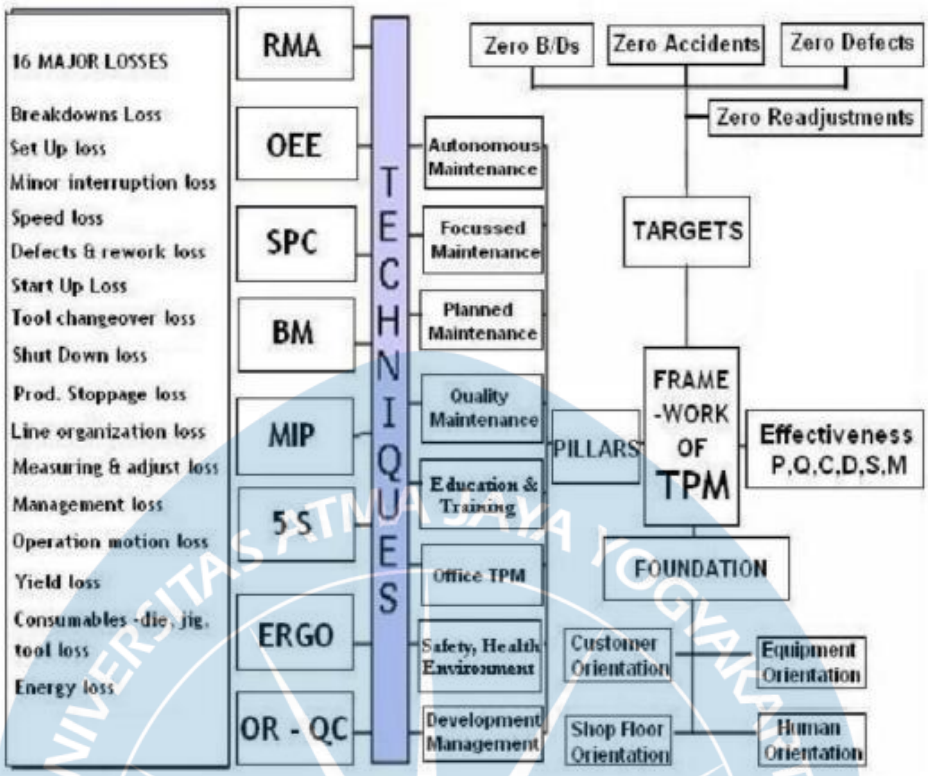
2.2.3 *Total Productive Maintenance*

Total Productive Maintenance (TPM) merupakan pendekatan sistematis dalam manajemen pemeliharaan yang bertujuan untuk meningkatkan efektivitas peralatan produksi melalui keterlibatan seluruh elemen organisasi. TPM menekankan pentingnya integrasi antara fungsi produksi dan pemeliharaan agar peralatan dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan. Fungsi optimalisasi ditunjukkan dengan upaya mencegah kerusakan tak terduga, penurunan performansi, dan penurunan kualitas

produk atau proses. Fungsi optimaliasi didukung dengan fungsi keberlanjutan yang dilakukan dengan upaya memastikan pengoptimalan operasional dapat berlanjut sehingga peralatan dapat dioperasikan pada kapasitas 100% sepanjang waktu. Penerapan TPM memungkinkan untuk aktivitas pemeliharaan tidak hanya menjadi tanggung jawab departemen *maintenance*, tetapi juga melibatkan operator sebagai pihak yang berinteraksi langsung dengan mesin dalam kegiatan produksi (Ben-Daya dkk., 2009).

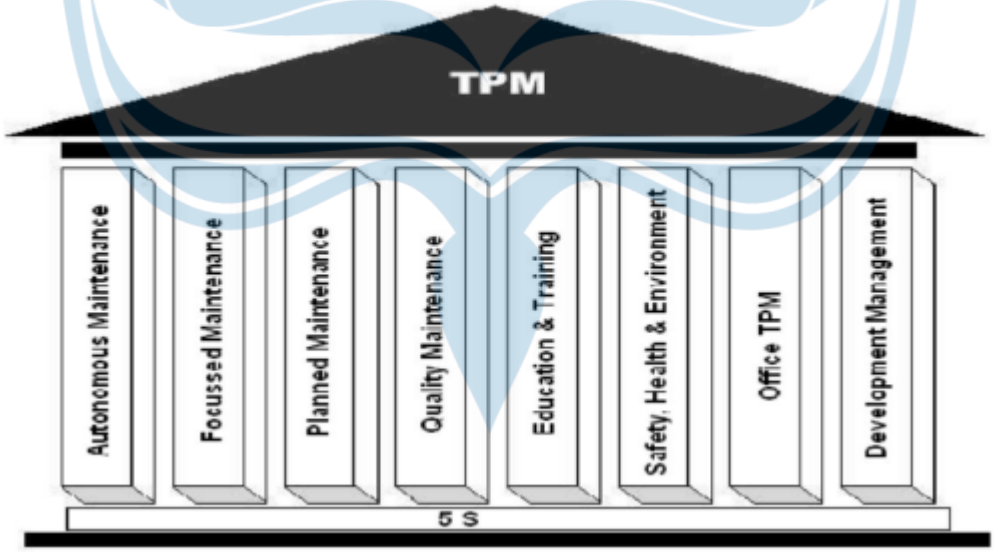
Ben-Daya dkk., (2009) menyebutkan bahwa terdapat beberapa elemen utama dalam TPM. Elemen TPM tersebut mencakup pembentukan tim lintas fungsi untuk mengatasi hambatan yang mempengaruhi waktu operasional mesin dan penerapan program pemeliharaan preventif yang disiplin. Elemen lainnya yaitu peningkatan efisiensi dalam manajemen operasi pemeliharaan, pelaksanaan pelatihan pemeliharaan hingga ke tingkat operator, serta penggunaan sistem informasi guna mendukung pengembangan peralatan dengan biaya lebih rendah dan tingkat keandalan yang lebih tinggi. Implementasi TPM memberikan manfaat yang luas bagi perusahaan yang dapat diklasifikasikan dalam enam aspek utama, yaitu produktivitas (*productivity*), kualitas (*Quality*), biaya (*cost*), pengiriman (*delivery*), keselamatan (*safety*), dan moral pekerja (*morale*). Keenam aspek tersebut menunjukkan bahwa TPM tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga mencakup aspek manajerial dan sumber daya manusia.

TPM membuka jalan bagi praktik perencanaan, pengorganisasian, pemantauan, dan pengendalian yang unggul melalui metodologi delapan pilar. Pilar utama yang menjadi dasar implementasi, yaitu *Autonomous maintenance*, *planned maintenance*, *focused improvement*, *Quality maintenance*, *education and training*, *safety, health and environment*, *office TPM*, serta *development management*. Kedelapan pilar tersebut membentuk suatu sistem yang terintegrasi untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, dan produktivitas peralatan. Kedelapan pilar tersebut memiliki fungsi dan karakter masing-masin dalam proses implementasi. Model implementasi menggunakan delapan pilar TPM yang dilakukan oleh Nakajima (1988), digambarkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Kerangka Kerja *Total Productive Maintenance*

(Daya dkk., 2009)



Gambar 2.2 Hierarki Total *Productive Maintenance*

(Ben-Daya dkk., 2009)

Salah satu prinsip utama dalam TPM adalah keterlibatan total karyawan melalui kerja sama lintas fungsi antara bagian produksi dan pemeliharaan. TPM menekankan pembentukan tim kerja (*cross-functional teams*) serta aktivitas kelompok kecil untuk melakukan pemeliharaan secara berkelanjutan. Pendekatan tersebut menyebabkan

operator tidak hanya bertugas menjalankan mesin, tetapi juga bertanggung jawab dalam kegiatan pemeliharaan dasar sehingga meningkatkan rasa kepemilikan terhadap peralatan. Pemeliharaan rutin yang dilakukan bermanfaat dalam menjaga kondisi mesin tetap optimal dan mesin selalu tersedia sebelum dioperasikan, sehingga dapat mencegah kerusakan berat dan mencegah frekuensi kerusakan sering (Ben-Daya dkk., 2009). Tinjauan tersebut relevan dengan tinjauan permasalahan yang ditemukan di PT Limpah Sejahtera yaitu pemeliharaan mesin dibebankan kepada teknisi, sedangkan operator hanya melakukan inspeksi kondisi mesin.

2.2.4 *Autonomous Maintenance*

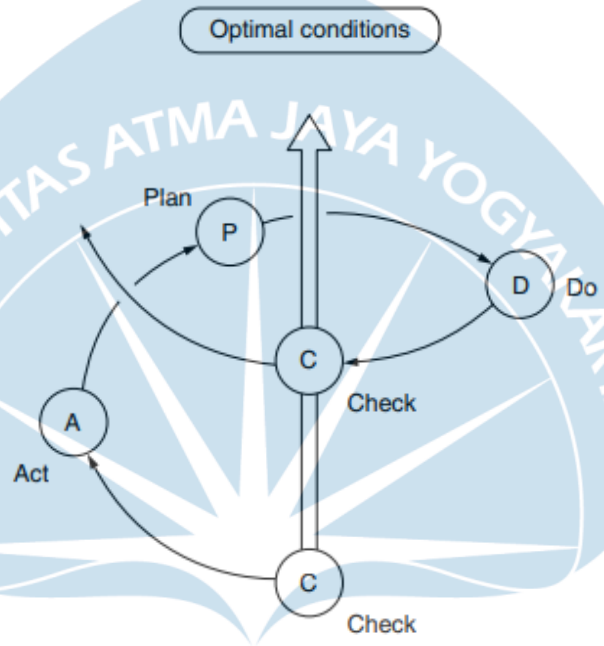
Autonomous Maintenance (AM) merupakan salah satu pilar utama dalam TPM yang berfokus pada penerapan aktivitas yang berkelanjutan dengan keterlibatan operator dalam aktivitas pemeliharaan mesin secara mandiri. Metode tersebut menekankan bahwa operator tidak hanya bertugas menjalankan mesin, tetapi juga bertanggung jawab dalam menjaga kondisi mesin agar tetap optimal. Operator bertanggung jawab dalam perawatan lingkungan area mesin, perawatan mesin, dan pemeriksaan area mesin agar mesin dapat berjalan dengan kondisi optimal dan mengurangi resiko rusak (Ben-Daya dkk. 2009).

Ben-Daya dkk. (2009) menyebutkan bahwa dalam implementasi TPM, *Autonomous maintenance* didefinisikan sebagai keterlibatan operator dalam aktivitas pemeliharaan rutin untuk mencegah terjadinya penurunan kinerja peralatan. Keterlibatan ini muncul sebagai solusi terhadap paradigma lama "*I run it, you fix it*", yang dinilai tidak efektif dalam mengurangi kerusakan dan cacat produksi. Paradigma tersebut menjadi dasar bahwa organisasi perlu membangun rasa kepemilikan (*ownership*) terhadap mesin pada operator melalui keterlibatan aktif dalam kegiatan pemeliharaan.

AM diterapkan dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan mesin melalui aktivitas pemeliharaan rutin yang dilakukan langsung oleh operator. Aktivitas yang dilakukan operator dalam implementasi AM tersebut meliputi kegiatan pembersihan (*cleaning*), pelumasan (*lubrication*), pengencangan (*tightening*), penyesuaian (*adjustment*), inspeksi (*inspection*), serta penyesuaian ulang (*re-adjustment*). Berdasarkan aktivitas tersebut operator diharapkan mampu mendeteksi potensi kerusakan sejak dini dan mencegah terjadinya kerusakan yang lebih besar.

Penerapan setiap langkah AM dilandasi degan siklus *Check, Act, Plan,* dan *Do* (CAPD). CAPD dalam AM merupakan pendekatan sistem berkelanjutan untuk meningkatkan keandalan peralatan dan mencegah kerusakan. Tahap *Check* (C) dilakukan dengan mengevaluasi kondisi saat ini dan mengidentifikasi masalah dan akar masalah dalam

lingkungan kerja. Tahap *Act* (A) berfokus pada penentuan tindakan perbaikan berdasarkan masalah yang ditemukan. Selanjutnya, *Plan* (P) bertujuan mencegah masalah berulang melalui perencanaan, seperti pembuatan standar kerja, prosedur, dan kontrol visual. Tahap *Do* (D) merupakan implementasi rencana serta memastikan tindakan pencegahan berjalan efektif. Siklus ini dilakukan secara terus-menerus hingga mencapai kondisi optimal (Tajiri & Gotoh, 1999). Siklus CAPD ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Siklus CAPD

(Tajiri & Gotoh, 1999)

2.2.5 *Predefined Maintenance Plan*

Predefined Maintenance Plan (PMP) merupakan suatu rencana pemeliharaan yang telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan interval waktu, umur peralatan, atau siklus operasi tertentu untuk menjaga keandalan dan ketersediaan peralatan. Konsep ini termasuk dalam kategori *planned maintenance* atau pemeliharaan terencana yang dilaksanakan sebelum terjadi kerusakan pada peralatan. Tujuan utama dari PMP adalah mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan fungsi serta mencegah penurunan kinerja peralatan melalui pelaksanaan aktivitas pemeliharaan yang terjadwal secara sistematis. Menurut Kothamasu, Huang, dan VerDuin dalam *Handbook of Maintenance Management and Engineering*, *preventive maintenance* merupakan strategi pemeliharaan yang dilakukan pada interval yang telah ditentukan sebelumnya (*predetermined intervals*) untuk mengurangi probabilitas terjadinya kegagalan maupun penurunan performa peralatan Ben-Daya dkk. (2009).

PMP umumnya mengadopsi pendekatan *preventive maintenance* yang dilakukan berdasarkan jadwal tetap (*constant interval maintenance*). Pada pendekatan ini, aktivitas pemeliharaan dilaksanakan pada interval waktu yang telah ditentukan, terlepas dari kondisi aktual peralatan. Penentuan interval tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan keseimbangan antara risiko kegagalan yang meningkat akibat interval yang terlalu panjang dan biaya pemeliharaan yang meningkat akibat interval yang terlalu pendek. Dengan demikian, PMP memungkinkan perusahaan untuk merencanakan kebutuhan tenaga kerja, suku cadang, material, serta waktu penghentian operasi secara lebih efektif dan terstruktur Ben-Daya dkk. (2009).

Penerapan PMP memerlukan proses perencanaan pemeliharaan yang baik. Menurut Ben-Daya dkk. (2009) yang dikutip dalam buku tersebut, proses perencanaan pemeliharaan mencakup penentuan isi pekerjaan, penyusunan rencana kerja, penetapan jumlah tenaga kerja, perencanaan kebutuhan suku cadang dan material, penyiapan peralatan khusus, penentuan personel yang sesuai, peninjauan aspek keselamatan kerja, penetapan prioritas pekerjaan, hingga penyusunan *work order*. Perencanaan yang sistematis tersebut bertujuan agar seluruh aktivitas pemeliharaan dapat dilaksanakan secara efisien dan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

Keberhasilan PMP sangat dipengaruhi oleh kemampuan organisasi dalam menyusun jadwal pemeliharaan yang terintegrasi dengan kebutuhan operasional perusahaan. Rencana pemeliharaan yang telah disusun akan diterjemahkan ke dalam jadwal jangka panjang, menengah, maupun pendek sehingga pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan dapat dilakukan secara terkendali. Dengan adanya jadwal yang telah ditentukan sebelumnya, perusahaan dapat mengurangi frekuensi kerusakan, meningkatkan keandalan peralatan, serta mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya pemeliharaan Ben-Daya dkk. (2009).

2.2.6 *Bottom-Up Methodology for KPI Selection*

Bottom-Up Methodology for KPI Selection merupakan pendekatan pemilihan Key Performance Indicators (KPI) yang dimulai dari tingkat operasional organisasi (*level* bawah) kemudian disesuaikan dengan tujuan dan strategi organisasi pada tingkat yang lebih tinggi. Metode ini menjadi cara penentuan KPI yang ditentukan dari parameter proses yang terjadi di lantai produksi, bukan dari target Perusahaan secara *top-down.* Pendekatan tersebut berdasar pada asumsi bahwa indikator kinerja yang efektif harus mencerminkan aktivitas nyata yang dilakukan oleh karyawan dan unit kerja sehari-hari, sehingga KPI yang dipilih dapat dikendalikan dan memberikan dampak langsung terhadap pencapaian tujuan organisasi.

Menurut Parmenter (2015), proses pemilihan KPI harus diawali dengan identifikasi *Critical Success Factors* (CSFs). KPI adalah faktor-faktor penting yang menentukan keberhasilan organisasi dan menjadi tujuan dalam proses perancangan atau perbaikan. Karyawan dan manajer operasional yang terlibat langsung dalam proses bisnis memiliki pemahaman yang lebih baik mengenai aktivitas yang mempengaruhi keberhasilan organisasi. Kondisi tersebut menjadi dasar bahwa pengembangan KPI sebaiknya dilakukan melibatkan berbagai *level* organisasi, bukan hanya ditentukan oleh manajemen puncak.

Pada pendekatan bottom-up, proses pemilihan KPI dilakukan dengan mengidentifikasi aktivitas operasional yang berkontribusi terhadap CSF, kemudian menentukan ukuran kinerja yang mampu menggambarkan keberhasilan aktivitas tersebut. KPI yang dihasilkan harus memiliki karakteristik yaitu, bersifat non-finansial, diukur secara berkala, mudah dipahami, dapat dikendalikan oleh tim tertentu, berdampak signifikan terhadap keberhasilan organisasi, dan mendorong perilaku kerja yang positif. KPI dapat digunakan dalam proses kontrol dengan pendekatan perbaikan secara berkelanjutan. *monitoring* proses produksi dapat dilakukan dengan meninjau pencapaian parameter yang digunakan sebagai indikator proses, sehingga organisasi dapat mengendalikan proses dengan evaluasi pencapaian parameter.

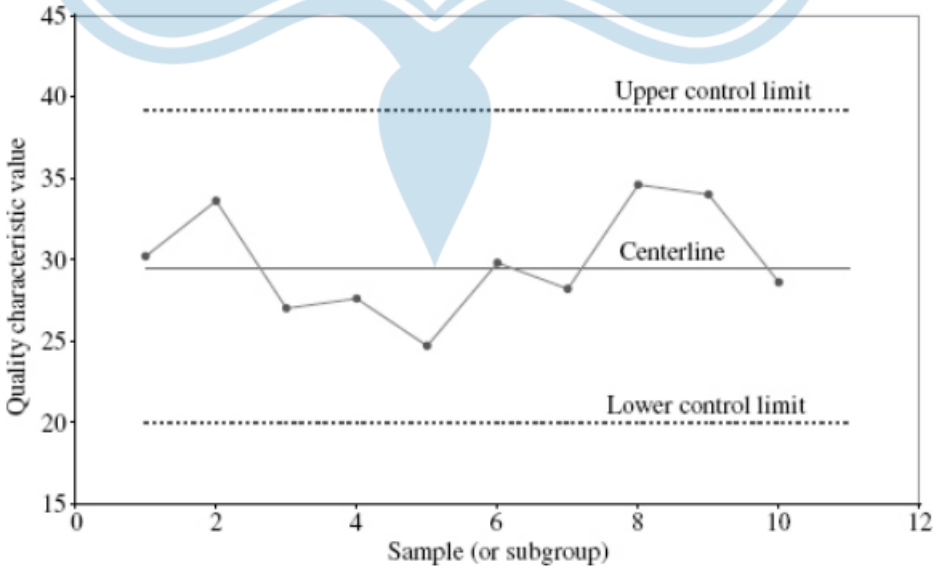
Parmenter (2015) juga menjelaskan bahwa KPI yang baik harus berfokus pada aktivitas yang dapat dikendalikan oleh tim operasional dan memiliki hubungan langsung dengan *Critical Success Factors* organisasi. Penentuan KPI tidak dimulai dari target keuangan atau indikator strategis tingkat atas, melainkan dari aktivitas inti yang dilakukan oleh unit kerja sehari-hari. Setelah KPI operasional ditetapkan, indikator tersebut kemudian dikaitkan dengan tujuan organisasi sehingga tercipta keselarasan antara aktivitas operasional dan strategi perusahaan.

2.2.7 *Statistical Process Control*

Statistical Process Control (SPC) merupakan salah satu cabang utama dalam *Statistical Quality Control* yang digunakan untuk memantau, mengendalikan, dan meningkatkan kualitas proses melalui penerapan metode statistik. SPC bertujuan untuk memastikan bahwa proses produksi berada dalam kondisi terkendali (*statistical control*) sehingga variasi yang terjadi hanya disebabkan oleh penyebab alami (*common causes*) dan bukan oleh penyebab khusus (*special causes*) yang dapat menurunkan kualitas produk. SPC berfokus pada pengendalian proses selama proses berlangsung sehingga tindakan korektif dapat dilakukan sebelum menghasilkan produk yang tidak sesuai spesifikasi (Mitra, 2021).

Mitra (2021) menyatakan bahwa konsep dasar SPC didasari pernyataan bahwa setiap proses selalu memiliki variasi. Variasi tersebut dapat berasal dari faktor manusia, mesin, material, metode kerja, maupun lingkungan. Berdasarkan teori tersebut, diperlukan suatu metode yang mampu membedakan variasi normal proses dengan variasi yang menunjukkan adanya gangguan atau ketidakstabilan proses. Alat utama yang digunakan dalam SPC adalah peta kendali (*control chart*) yang dikembangkan oleh Walter A. Shewhart pada tahun 1924 untuk *monitoring* karakteristik kualitas suatu proses secara berkelanjutan.

Peta kendali merupakan grafik yang menampilkan data proses dari waktu ke waktu dan dilengkapi dengan garis pusat (*Center Line/CL*), batas kendali atas (*Upper Control Limit/UCL*), dan batas kendali bawah (*Lower Control Limit/LCL*). *Center Line* (CL) menunjukkan tren dari nilai yang dicapai dalam suatu proses berdasarkan indikator yang ditetapkan dengan dibatasi oleh *Upper Control Limit* dan *Lower Control Limit.* Peta Kendali Proses membantu perusahaan dapat mengetahui apakah proses masih berada dalam kondisi terkendali atau telah mengalami penyimpangan yang memerlukan tindakan perbaikan. Jika seluruh titik pengamatan berada di dalam batas kendali dan tidak menunjukkan pola tertentu, maka proses dianggap berada dalam kondisi terkendali secara statistik. Kondisi sebaliknya, apabila terdapat titik yang berada di luar batas kendali atau membentuk pola tidak acak, maka proses dianggap mengalami gangguan yang harus segera diinvestigasi (Mitra, 2021). Struktur dasar peta kendali ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Peta Kendali

SPC juga digunakan sebagai alat peningkatan kualitas berkelanjutan (*continuous improvement*). *Improvement* dilakukan dengan pemantauan secara periodik, organisasi dapat mengidentifikasi sumber variasi, mengurangi pemborosan, meningkatkan konsistensi kualitas produk, serta memperbaiki efisiensi proses produksi. Pendekatan ini sejalan dengan filosofi kualitas modern yang menekankan pencegahan masalah dibandingkan inspeksi produk akhir. Pendekatan tersebut menandakan bahwa SPC *focus* pada peningkatan kualitas proses yang dilakukan dengan mengevaluasi kemampuan sistem berdasarkan data historis secara berkelanjutan.

SPC dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu *control chart* untuk data variabel dan *control chart* untuk data atribut. Peta kendali variabel digunakan ketika karakteristik kualitas dapat diukur secara numerik, seperti berat, suhu, tekanan, atau dimensi produk. Terdapat beberapa jenis peta kendali variabel yang umum digunakan yaitu *X̄-Chart* dan *R-Chart, X̄-Chart* dan *S-Chart, Individuals-Moving Range (I-MR) Chart, CUSUM Chart,* dan *EWMA Chart.* Peta kendali atribut digunakan untuk karakteristik kualitas yang dinyatakan dalam bentuk cacat atau tidak cacat menggunakan *p-chart, np-chart, c-chart,* dan *u-chart.*

2.2.8 Proses Bisnis

Sistem informasi dapat membantu organisasi dalam mendesain ulang, menyederhanakan, mengotomasikan sebagian dari proses bisnis. Proses bisnis adalah rangkaian aktivitas yang digambarkan untuk menghasilkan produk atau layanan. Rangkaian aktivitas tersebut dapat digambarkan berdasarkan aliran material, informasi, dan pengetahuan diantara *stakeholder* atau divisi dalam proses bisnis. Proses bisnis dapat digambarkan sesuai kondisi lapangan berdasarkan cara-cara unik yang dilakukan organisasi dalam menghasilkan produk atau layanan (Laudon et.al., 2018).

Proses bisnis memiliki berperan sebagai dasar dalam menjalankan operasional perusahaan secara efektif dan efisien. Proses bisnis terdiri dari serangkaian aktivitas yang saling berkaitan dan dilakukan secara berurutan untuk menghasilkan suatu output yang memiliki nilai bagi organisasi maupun pelanggan. Aktivitas tersebut biasanya melibatkan berbagai sumber daya seperti manusia, mesin, informasi, serta material yang saling berinteraksi dalam suatu sistem kerja (Laudon dkk., 2018). Pemetaan proses bisnis dapat disesuaikan dengan proses yang akan ditinjau dan dapat mempertimbangkan sumber daya yang dibutuhkan dalam proses tersebut.

Proses bisnis umumnya memiliki tiga komponen utama yaitu input, proses, dan output. Input merupakan sumber daya yang digunakan dalam proses bisnis, seperti data, bahan baku, atau informasi yang diperlukan untuk menjalankan aktivitas. Input akan diproses

melalui serangkaian aktivitas operasional yang dilakukan oleh sistem atau individu dalam organisasi. Hasil dari proses tersebut akan menghasilkan output berupa produk, layanan, atau informasi yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan maupun perencanaan operasional selanjutnya (Laudon dkk., 2018).

Proses bisnis dapat dijalankan secara lebih terintegrasi sehingga memudahkan organisasi dalam melakukan pemantauan, pengendalian, serta evaluasi terhadap kinerja proses yang sedang berlangsung melalui sistem informasi (Laudon dkk., 2018). Proses bisnis seringkali melibatkan aliran material, aliran informasi, dan aliran aktivitas kerja yang terjadi secara simultan. Ketiga aliran tersebut harus dikelola secara baik agar proses produksi dapat berjalan secara optimal. Apabila terjadi ketidakseimbangan pada salah satu aktivitas proses, maka dapat menimbulkan keterlambatan, penumpukan pekerjaan, maupun penurunan kinerja sistem produksi secara keseluruhan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah dengan menerapkan sistem *monitoring* berbasis sistem informasi yang mampu mengumpulkan dan menampilkan data operasional secara *real time*.

2.2.9 *Failure Mode and Effects Analysis*

Penelitian yang dilakukan oleh Purnomo dkk. (2021) melakukan analisis deteksi kerusakan menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis)*. Metode FMEA adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menetapkan suatu permasalahan yang terjadi pada suatu sistem, desain, maupun proses Stamatis, D. H. (2003). Menurut Soliman dkk., (2025) Metode FMEA memiliki tiga kriteria yang menunjukkan potensi kegagalan atau potensi kerusakan yaitu, *severity* (tingkat keparahan), *occurence* (frekuensi kejadian), dan *detection* (kemampuan deteksi). Berikut merupakan tiga kriteria metode FMEA yang digunakan untuk perhitungan RPN.

a. *Severity*

Severity adalah penilaian yang digunakan untuk menunjukkan hasil identifikasi dari dampak potensi kegagalan yang berakibat pada kegagalan yang terjadi. *Severity* memiliki skala penilaian dari skala 1 hingga 10 berdasarkan tingkat keparahan dari kerusakan yang ditimbulkan.

b. *Occurance*

Occurance adalah penilaian yang digunakan untuk menunjukkan hasil identifikasi dari tingkat kemungkinan terjadi kegagalan atau kerusakan. *Occurance* memiliki skala penilaian dari skala 1 hingga 10 berdasarkan frekuensi kejadian terjadi kerusakan maupun kegagalan.

c. *Detection*

Detection adalah pengukuran yang menunjukkan seberapa efektif deteksi yang dilakukan sebelum dampak kerusakan atau kegagalan ditimbulkan. *Detection* memiliki rentang skala penilaian dari 1 hingga 10, dimana angka yang lebih tinggi menunjukkan kesulitan dalam mengidentifikasi kegagalan maupun kerusakan yang terjadi.

Tiga kriteria tersebut digunakan untuk menghitung *risk priority number* (RPN) berdasarkan hasil perkalian yang ditunjukkan pada persamaan 2.1

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan yang ditunjukkan pada persamaan 2.1. Berikut ini adalah contoh tabel yang akan ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 FMEA

No	Komponen	*Function*	*Failure Mode*	*Failure Cause*	*Effect of Failure*	*Several*	*Occurance*	*Detection*	RPN

Hasil dari perhitungan RPN dapat menunjukkan tingkat keparahan berdasarkan hasil perhitungan dari tiga kriteria tersebut. Hasil dari perhitungan tersebut dapat diidentifikasi untuk menentukan skor tertinggi, maka kegagalan tersebut dapat dilakukan perbaikan agar proses berjalan lebih efisien.

2.2.10 *Preventive Maintenance*

Heizer dkk. (2023) mendefinisikan *preventive maintenance* sebagai pendekatan pemeliharaan yang dilakukan secara terencana melalui kegiatan pemantauan peralatan serta inspeksi dan servis rutin untuk menjaga keandalan mesin dan fasilitas. Pendekatan ini bertujuan agar peralatan dapat beroperasi dalam batas toleransi yang telah ditetapkan sehingga proses produksi dapat berjalan sesuai dengan rancangan awal. Aktivitas *preventive maintenance* bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan sebelum kegagalan peralatan benar-benar terjadi serta mengurangi variabilitas kinerja peralatan yang dapat mengganggu kelancaran operasi suatu sistem.

Penerapan *preventive maintenance* berkontribusi terhadap perpanjangan umur investasi aset dan pengendalian gangguan operasional dalam sistem produksi. Menurut Heizer dkk. (2023) Kegagalan dalam pelaksanaan *preventive maintenance* akan menyebabkan terjadinya *breakdown maintenance* yang bersifat darurat dan berpotensi menimbulkan gangguan produksi yang signifikan sehingga diperlukan penanganan prioritas. Perencanaan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal menekan risiko kerusakan dan menjaga kontinuitas proses produksi.

2.2.11 *Reliability* (MTTF, MTTR)

Reliability atau keandalan adalah ukuran kemampuan suatu mesin atau sistem untuk beroperasi tanpa mengalami kegagalan dalam periode waktu tertentu. Menurut Kurniawan (2013), *reliability* digunakan untuk mengevaluasi kinerja peralatan dan menjadi dasar perencanaan kegiatan perawatan. Salah satu parameter utama dalam *reliability* adalah *Mean Time To Failure* (MTTF), yaitu waktu operasi rata-rata suatu komponen hingga mengalami kegagalan. Secara matematis MTTF dirumuskan pada persamaan 2.2.

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Total Waktu Operasi}}{\text{Jumlah Kegagalan}} \tag{2.2}$$

Ebeling (1997) menjelaskan bahwa secara probabilistik, MTTF merupakan nilai harapan dari waktu sampai terjadinya kegagalan dan sering digunakan untuk menggambarkan tingkat keandalan serta umur pakai suatu komponen.

Mean Time To Repair (MTTR) merupakan salah satu parameter *reliability* yang menggambarkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk memperbaiki suatu peralatan hingga dapat beroperasi normal. Menurut Kurniawan (2013), MTTR mencerminkan tingkat *maintainability,* di mana nilai MTTR yang kecil menandakan sistem yang lebih mudah dan cepat untuk diperbaiki. MTTR dihitung dengan membandingkan total waktu perbaikan terhadap jumlah aktivitas perbaikan, yang dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Total Waktu Perbaikan}}{\text{Jumlah Perbaikan}} \tag{2.3}$$

2.2.12 Manajemen Persediaan

Manajemen persediaan komponen merupakan proses perencanaan dan pengendalian ketersediaan komponen pengganti yang digunakan untuk mendukung kegiatan pemeliharaan mesin dan peralatan produksi. Tujuan utama dari manajemen persediaan komponen adalah sebagai penyangga untuk menghadapi ketidakpastian permintaan dan *lead time,* sehingga perusahaan tetap mampu memenuhi kebutuhannya tepat waktu. Persediaan berfungsi untuk meningkatkan *service level,* mengurangi risiko kekurangan persediaan yang dapat menimbulkan ganguan operasional (Chopra & Meindl, 2016). Pengelolaan persediaan yang tidak efektif dapat menyebabkan keterlambatan pelaksanaan *preventive maintenance,* meningkatnya *downtime* mesin, serta bertambahnya biaya operasional perusahaan (Heizer dkk. 2023).

Pengendalian persediaan komponen untuk pemeliharaan umumnya menggunakan model *Reorder Point (*ROP*)* yang mempertimbangkan kebutuhan komponen selama waktu tunggu pengadaan (*lead time).* ROP menunjukkan tingkat persediaan tertentu

yang menjadi sinyal untuk melakukan pemesanan kembali. Dalam kondisi permintaan yang bersifat deterministik, nilai ROP dapat dirumuskan menggunakan persamaan 2.4.

$$ROP = d \times L \quad (2.4)$$

Keterangan:

ROP = titik pemesanan kembali *(Reorder point)*

d = rata-rata kebutuhan per periode *(demand)*

L = *lead time*

Apabila terdapat ketidakpastian permintaan maupun *lead time,* maka diperlukan penambahan *safety stock* sebagai persediaan pengaman. Nilai ROP dengan penambahan *safety stock* ditunjukkan pada persamaan 2.5.

$$ROP = (d \times L) + SS \quad (2.5)$$

Keterangan:

ROP = titik pemesanan kembali *(Reorder point)*

d = rata-rata kebutuhan per periode *(demand)*

L = *lead time*

SS = *safety stock*

Nilai *safety stock* ditentukan berdasarkan tingkat pelayanan yang diinginkan dan variasi kebutuhan komponen selama *lead time.* Secara umum, *safety stock* ditunjukkan pada persamaan 2.6.

$$SS = Z \times \sigma_L \quad (2.6)$$

Keterangan:

SS = *safety stock*

Z = nilai distribusi normal

σ_L = standar deviasi

2.2.13 *Economic Order Quantity* (EOQ) Probabilistik

Economic Order Quantity (EOQ) merupakan metode pengendalian persediaan yang digunakan untuk menentukan jumlah pemesanan yang paling ekonomis dengan tujuan meminimalkan total biaya persediaan yang terdiri atas biaya pemesanan dan biaya penyimpanan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa permintaan dapat diperkirakan dan perusahaan berupaya menemukan keseimbangan antara frekuensi pemesanan dengan jumlah persediaan yang disimpan. Menurut Heizer dkk. (2023), EOQ merupakan salah satu model persediaan yang digunakan untuk menentukan kuantitas pemesanan optimal sehingga total biaya persediaan berada pada tingkat minimum. Pada kondisi permintaan dan *lead time* yang tidak pasti, model EOQ dapat

dikembangkan menjadi EOQ probabilistik dengan menambahkan *safety stock* dan *reorder point* untuk mengantisipasi kekurangan persediaan serta menjaga tingkat pelayanan persediaan yang diinginkan (Heizer dkk., 2023). Jumlah pemesanan ekonomis dihitung berdasarkan Persamaan 2.7.

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \tag{2.7}$$

Keterangan:

Q^* = Jumlah Pemesanan Ekonomis (Unit)

D = *Annual Demand* (Unit/Tahun)

S = Biaya Pemesanan (Rp/Pemesanan)

H = Biaya Penyimpanan (Rp/Unit/Tahun)

Pada model EOQ, total biaya persediaan dihitung menggunakan Persamaan 2.8.

$$TIC = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H \tag{2.8}$$

Keterangan:

TIC = Total Biaya Persediaan (Rp/Tahun)

$\frac{D}{Q}S$ = Total Biaya Pemesanan Tahunan

$\frac{Q}{2}H$= Total Biaya Penyimpanan Tahunan

2.2.14 Simulasi

Simulasi merupakan metode yang digunakan untuk merepresentasikan perilaku suatu sistem nyata ke dalam sebuah model sehingga karakteristik dan kinerja sistem dapat dipelajari tanpa harus melakukan eksperimen secara langsung pada sistem aktual. Penggunaan simulasi menjadi penting ketika sistem yang diteliti memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi, mengandung ketidakpastian, atau memerlukan biaya dan waktu yang besar apabila dilakukan pengujian secara langsung. Menurut Kelton dkk. (2000), simulasi adalah proses perancangan model dari suatu sistem nyata dan pelaksanaan eksperimen terhadap model tersebut dengan tujuan memahami perilaku sistem atau mengevaluasi berbagai strategi yang dapat digunakan untuk meningkatkan performansi sistem. Simulasi banyak digunakan dalam bidang manufaktur, logistik, pemeliharaan, dan pengendalian persediaan sebagai alat bantu pengambilan keputusan.

2.2.15 Membangkitkan Bilangan Random berdasarkan Pola Distribusi

Pembangkitan bilangan acak berdasarkan pola distribusi dilakukan setelah distribusi probabilitas data historis didapatkan. Setiap jenis distribusi memiliki karakteristik dan persamaan yang berbeda untuk mengubah bilangan acak uniform menjadi nilai variabel yang mengikuti distribusi tertentu. Menurut Law (2015), proses ini dikenal sebagai *random variate generation*, yaitu metode untuk menghasilkan data acak yang mengikuti distribusi probabilitas yang telah ditentukan. Pada penelitian simulasi, bilangan acak yang dibangkitkan dari distribusi *Uniform* kemudian ditransformasikan menggunakan fungsi atau persamaan distribusi yang sesuai, seperti distribusi *Exponential, Weibull, Gamma, Beta, Normal,* maupun *Triangular*. Persamaan pembangkitan bilangan acak untuk masing-masing distribusi ditunjukkan pada Tabel 2.5. Pemilihan distribusi yang digunakan disesuaikan dengan hasil pengujian distribusi terhadap data historis sehingga nilai yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi aktual sistem secara lebih akurat.

Tabel 2.5 Pola Distribusi

Nama	Persamaan	Formula
Uniform	UNIF (Min, Max)	Min + (Max-Min). U
Exponential	EXPO (μ)	- μ . ln(U)
Weibull	WEIB (β, α)	β [-ln(U)].1/ α
Gamma	GAMM (β, α)	GAMMAINV(U; β; α)
Beta	BETA (α_1, α_2)	BETAINV(U; α_1; α_2; 0; 1)
Normal	NORM (μ, σ)	NORMINV(U; μ; σ)
Triangular	TRIA (Min, Mode, Max)	c = (Mode-Min)/(Max-Min) b = $\sqrt{c.U}$ jika U ≤ c X' = 1 - $\sqrt{(1 - c)(1 - U}$ jika U ≥ c Min + (Max-Min). X'

Keterangan :

X = bilangan random hasil pembangkitan

U = bilangan random, 0 ≤ U ≤ 1

Min = nilai minimum

Max = nilai maksimum

Mode = nilai dengan kemunculan terbanyak

μ = nilai rata-rata

β = parameter skala

α = parameter bentuk

α_1 = parameter bentuk bawah

α_2= parameter bentuk atas

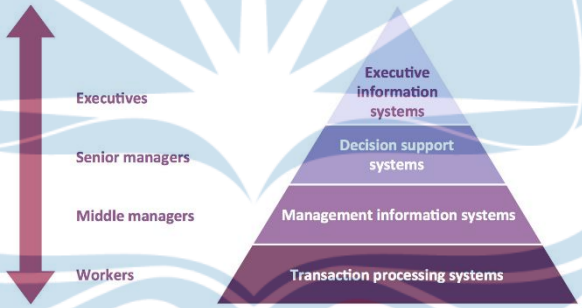
s = standar deviasi

2.2.16 *Corrective maintenance*

Pemeliharaan korektif (*Corrective maintenance*) adalah tindakan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kegagalan pada mesin untuk mengembalikan fungsi peralatan ke kondisi normal operasional. Pemeliharaan korektif didefinisikan sebagai aktivitas perawatan yang dilakukan setelah terdeteksinya kegagalan dengan tujuan memulihkan kemampuan fungsi suatu sistem. Konsep *Reliability-Centered Maintenance* menjelaskan bahwa pemeliharaan korektif merupakan pendekatan reaktif yang dilakukan ketika kerusakan sudah terjadi, sehingga sering berdampak pada *downtime* yang lebih tinggi jika tidak dikendalikan dengan baik. Strategi pemeliharaan korektif perlu didukung oleh sistem informasi dan strategi perawatan lain agar lebih efektif dan efisien.

2.2.17 Hierarki Sistem Informasi

Hirarki sistem informasi adalah susunan tingkat sistem informasi pada organisasi yang terstruktur berdasarkan tingkat manajemen, jenis pengguna, dan penggunaan. Susunan ini dirancang untuk mendukung kebutuhan informasi secara spesifik, diawali dari proses hingga pengambilan keputusan (Laudon & Laudon, 2016)



Gambar 2.5 Hierarki Sistem Informasi

Hirarki sistem informasi terdiri dari 4 tingkatan utama seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.5 Hirarki Sistem Informasi tingkatan pertama yaitu *transaction processing system* (TPS) yang digunakan pada pekerja lapangan. Sistem ini berfokus pada aktivitas operasional berupa input kerusakan, pencatatan *hours meter,* dan input hasil perbaikan. Tingkatan kedua yaitu *Management Information System (MIS)* yang digunakan oleh manajemen tingkat menengah untuk membantu proses pengawasan dan pengendalian operasional. MIS mengolah data dari TPS menjadi informasi yang lebih ringkas dan mudah dipahami dalam bentuk laporan atau *dashboard*.

Tingkatan berikutnya adalah *Decision Support System (DSS)* yang digunakan untuk proses pengambilan keputusan semi-terstruktur. DSS menggunakan data riwayat, metode analisis, dan model perhitungan untuk menghasilkan keputusan yang objektif.

Sistem ini membantu manajer dalam pengambilan keputusan. Tingkatan paling atas adalah *Executive Information System (EIS)* yang digunakan oleh eksekutif untuk mendukung pengambilan keputusan strategis. EIS biasanya menampilkan indikator performa perusahaan dalam bentuk grafik atau *dashboard* strategis.

2.2.18 *Management Information System*

Management Information System (MIS) adalah sistem berbasis komputer yang dirancang untuk mengumpulkan, mengolah, menyimpan, dan menyajikan informasi guna mendukung kegiatan operasional, pengendalian, serta pengambilan keputusan pada tingkat manajemen. Menurut Laudon & Laudon (2016) MIS menghasilkan laporan dan ringkasan informasi yang berasal dari data transaksi sehingga manajer dapat memantau kinerja organisasi, mengevaluasi aktivitas operasional, dan mengambil keputusan yang bersifat terstruktur. Dalam konteks *maintenance*, MIS berperan dalam mengelola data kerusakan mesin, histori perawatan, *downtime*, serta status pekerjaan teknisi sehingga informasi yang dibutuhkan dapat diperoleh secara cepat, akurat, dan terdokumentasi. Penerapan MIS juga sejalan dengan ISO/IEC 12207:2017 Klausul 6.4 (*Development Process*), yang mendukung proses pengembangan perangkat lunak secara sistematis mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, integrasi, pengujian, hingga instalasi, sehingga sistem informasi yang dibangun mampu memenuhi kebutuhan pengguna dalam pengelolaan data *maintenance* secara efektif.

2.2.19 *Rapid Application Development*

Rapid Application Diagram (RAD) adalah salah satu metode sistem pengembangan *software* untuk mendukung perancangan *management information system*. Menurut *Press*man, (2014) RAD merupakan adaptasi model *incremental* yang dirancang untuk mempercepat proses perancangan sistem dengan meminimalkan tahapan perancangan yang terlalu panjang serta siklus pengembangan sesuai dengan *feedback* dari pengguna.

Dalam RAD proses pengembangan sistem dilakukan melalui serangkaian siklus yang relatif singkat, dimulai dari tahap perencanaan kebutuhan, kemudian dilanjutkan dengan perancangan model sistem, pembangunan prototipe, serta evaluasi oleh pengguna. *Press*man menjelaskan bahwa penggunaan prototipe menjadi elemen utama dalam RAD karena memungkinkan pengguna untuk melihat gambaran awal sistem, memberikan masukan, serta melakukan perubahan secara langsung sebelum sistem final dikembangkan. Kesalahan dalam memahami kebutuhan pengguna dapat diminimalkan sejak tahap awal pengembangan.

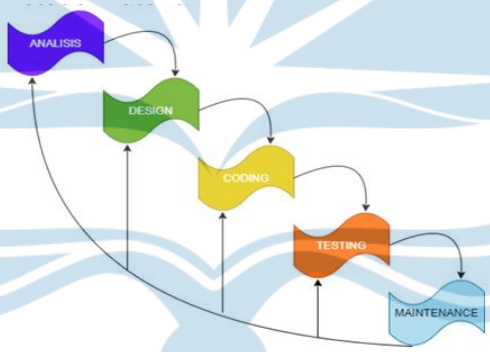


Gambar 2.6 Tahapan Rapid Application Development

(Falah et al, 2023)

2.2.20 *Waterfall Model*

Waterfall Model merupakan salah satu model pengembangan perangkat lunak yang bersifat linier dan sekuensial, di mana setiap tahap pengembangan harus diselesaikan secara berurutan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Menurut uman, (2014), model ini disebut sebagai pendekatan klasik dalam rekayasa perangkat lunak yang menekankan pada alur kerja yang sistematis mulai dari analisis kebutuhan hingga pemeliharaan sistem. Setiap fase dalam *Waterfall* harus terdokumentasi dengan baik sebelum berpindah ke tahap selanjutnya, sehingga model ini cocok digunakan ketika kebutuhan sistem telah didefinisikan secara jelas di awal pengembangan.



Gambar 2.7 Waterfall Model

(Hariansyah, 2021)

Tahapan dalam model *Waterfall* menurut *Press*man terdiri dari beberapa proses utama, yaitu analisis kebutuhan (*requirements analysis*), perancangan sistem (*system design*), perancangan (*coding*), pengujian (*testing*), serta pemeliharaan (*maintenance*). Pada tahap analisis kebutuhan, seluruh kebutuhan sistem dikumpulkan dan didefinisikan secara rinci. Selanjutnya, pada tahap desain sistem dilakukan perancangan arsitektur, basis data, serta antarmuka sistem. Tahap implementasi kemudian mengubah desain tersebut menjadi kode program. Tahap implementasi dilanjutkan pengujian untuk memastikan sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan, dan tahap terakhir adalah pemeliharaan untuk memperbaiki kesalahan serta melakukan peningkatan sistem apabila diperlukan.

2.2.21 *System Development Life Cycle Model*

System Development Life Cycle (SDLC) merupakan kerangka kerja yang digunakan untuk menggambarkan proses sistematis dalam pengembangan sistem informasi dari awal hingga sistem diimplementasikan dan dipelihara. Menurut Kendall et al (2014), SDLC menekankan bahwa pengembangan sistem harus dilakukan melalui tahapan yang terstruktur agar sistem yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan organisasi dan dapat berfungsi secara efektif dalam mendukung proses bisnis.

SDLC terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu perencanaan, analisis sistem, perancangan sistem, implementasi, serta pemeliharaan. Tahap perencanaan bertujuan untuk mengidentifikasi masalah, peluang, dan kelayakan pengembangan sistem. Tahap analisis dilakukan untuk memahami kebutuhan pengguna secara lebih rinci serta mengidentifikasi proses bisnis yang sedang berjalan. Tahap perancangan sistem berfokus pada pengembangan model sistem yang mencakup rancangan basis data, antarmuka, serta alur proses sistem. Tahap implementasi mencakup pembangunan sistem, pengujian, serta penerapan sistem ke lingkungan pengguna. Tahap terakhir adalah pemeliharaan, yaitu proses perbaikan, penyesuaian, dan pengembangan lanjutan agar sistem tetap relevan dengan kebutuhan organisasi.

Metode SDLC memberikan pendekatan yang sistematis dan terdokumentasi dalam pengembangan sistem informasi sehingga meminimalkan risiko kesalahan dalam pembangunan sistem. Kelebihan utama SDLC adalah struktur tahapan yang jelas, sehingga memudahkan pengendalian proyek dan memastikan setiap kebutuhan pengguna terakomodasi dengan baik. Kelemahan SDLC adalah prosesnya yang cenderung kaku dan memerlukan waktu yang relatif lama, terutama jika terjadi perubahan kebutuhan pada tahap pengembangan.

2.3 Standar dan Kode Etik

Standar dan kode etik digunakan sebagai acuan dalam memastikan bahwa proses analisis dan perancangan solusi pada tugas akhir ini dilakukan secara tepat, dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Pada permasalahan pada pengoperasian mesin pada stasiun *press*, penerapan standar dan kode etik diperlukan agar solusi yang dikembangkan relevan secara teknis, dan sesuai dengan aspek operasional, keamanan, dan pengelolaan informasi di perusahaan.

2.3.1 Standar

Terdapat standar-standar yang digunakan dalam perancangan untuk permasalahan kapasitas olah tidak tercapai.

a. Standar Perusahaan

Pelaksanaan Tugas Akhir ini didasari oleh standar sebagai acuan dalam perancangan dan analisis. Perusahaan memiliki standar operasional yang digunakan dalam mengendalikan sistem kerja, sistem produksi, dan sistem *maintenance*. Penggunaan standar operasional perusahaan dipilih untuk mendukung penyelesaian masalah yaitu, tingginya tingkat *downtime* mesin *press,* sehingga penyelesaian masalah yang dihasilkan sesuai dengan kondisi aktual operasional pabrik. Standar yang digunakan berupa standar operasional stasiun *press* yaitu, pengoperasian mesin *digester* dan *screw press* yang memuat parameter proses, kondisi operasi normal, serta target kinerja yang harus dicapai selama proses pengolahan berlangsung. Standar tersebut digunakan sebagai acuan dalam menentukan parameter yang perlu dimonitor, batas kondisi normal operasi, serta dasar identifikasi penyimpangan yang dapat mempengaruhi kapasitas pengolahan pabrik.

Standar lain yang digunakan adalah standar *hours meter* (HM) pergantian komponen yang telah ditetapkan perusahaan berdasarkan pengalaman operasional, riwayat pemeliharaan mesin, dan spesifikasi mesin. Standar HM digunakan sebagai pedoman menentukan umur pakai komponen dan menjadi dasar dalam memperkirakan waktu kebutuhan penggantian komponen sehingga risiko keterlambatan pengadaan dan kekurangan persediaan dapat diminimalkan. Perancangan juga mengacu pada standar kondisi komponen mesin yang digunakan perusahaan dalam kegiatan inspeksi dan pemeliharaan. Standar tersebut memuat kriteria kondisi komponen yang dikategorikan layak digunakan, perlu pemantauan, atau harus segera diganti. Penggunaan standar operasional perusahaan sebagai acuan, diharapkan mampu mendukung pengendalian proses pengolahan, meningkatkan keandalan mesin, serta mengurangi potensi *downtime* yang menyebabkan tidak tercapainya kapasitas olah pabrik.

b. ISO 14224:2016-*Realibility and Maintenance Data*

ISO 14224:2016 merupakan standar internasional yang mengatur pengelolaan data *reliability* dan *maintenance* peralatan agar tersusun secara konsisten, terstruktur, dan dapat digunakan sebagai dasar dalam analisis keandalan serta pengambilan keputusan pemeliharaan. Pada penelitian ini digunakan Klausul 9 (*Data Content and Format)* yang menjelaskan jenis dan struktur data yang perlu didokumentasikan, seperti histori kerusakan komponen, *Time Between Failure* (TBF), waktu perbaikan, *downtime*, serta aktivitas penggantian komponen. Standar ini menjadi acuan dalam memastikan bahwa data historis yang digunakan memiliki informasi yang lengkap dan relevan untuk proses analisis keandalan.

Penerapan Klausul 9 pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data historis kerusakan dan penggantian komponen sebagai masukan dalam proses *distribution fitting* menggunakan Input *Analyzer* pada perangkat lunak Arena. Distribusi probabilitas beserta parameter yang diperoleh kemudian digunakan sebagai input pada model simulasi *Monte Carlo* di Microsoft Excel untuk membangkitkan pola kejadian kerusakan sesuai karakteristik data historis. Hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi berbagai alternatif *Reorder Point* (ROP) sehingga diperoleh kebijakan persediaan *sparepart* yang mampu menghindari terjadinya *stockout* pada komponen kritis.

c. ISO 12207:2017 Klausul 6.4 -*Software Life Cycle Processes*

ISO/IEC 12207:2017 klausul 6.4 membahas mengenai *development process*, yaitu proses pengembangan perangkat lunak yang mencakup kegiatan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, integrasi, pengujian, hingga instalasi sistem. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa perangkat lunak dikembangkan secara sistematis, terdokumentasi, dan mampu memenuhi kebutuhan pengguna sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Dalam perancangan sistem informasi perawatan mesin, klausul ini relevan karena menjadi acuan dalam setiap tahapan pengembangan aplikasi, mulai dari identifikasi kebutuhan pengguna, perancangan basis data dan antarmuka, implementasi fitur sistem, hingga pengujian untuk memastikan seluruh fungsi aplikasi dapat berjalan sesuai dengan kebutuhan operasional perusahaan.

Penerapan ISO/IEC 12207:2017 klausul 6.4 pada perancangan sistem informasi perawatan mesin di PT Limpah Sejahtera memiliki keterkaitan yang erat dengan proses pengembangan aplikasi yang terstruktur. Setiap tahapan pengembangan, mulai dari analisis kebutuhan pengguna, perancangan sistem, implementasi fitur pelaporan kerusakan mesin, pengelolaan histori *maintenance*, penugasan teknisi, hingga pengujian sistem, dilaksanakan berdasarkan proses pengembangan perangkat lunak yang sistematis. Dengan mengacu pada klausul 6.4, sistem informasi yang dirancang diharapkan memiliki kualitas yang baik, memenuhi kebutuhan pengguna, serta mampu mendukung pengelolaan data *maintenance* dan proses pengambilan keputusan perawatan mesin secara lebih efektif, efisien, dan terintegrasi.

2.3.2 Kode Etik

Kode etik diperlukan dalam perancangan untuk memastikan proses analisis dan pengembangan solusi dilakukan secara bertanggung jawab dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Pada tugas akhir ini, kode etik yang digunakan adalah Undang-Undang No. 27 Tahun 2022 Pasal 20 dan 35 tentang Perlindungan Data Pribadi, yang

menjadi dasar dalam pelaksanaan observasi dan penelitian perusahaan, khususnya terkait pengolahan data dan informasi yang diperoleh dari *stakeholder*.