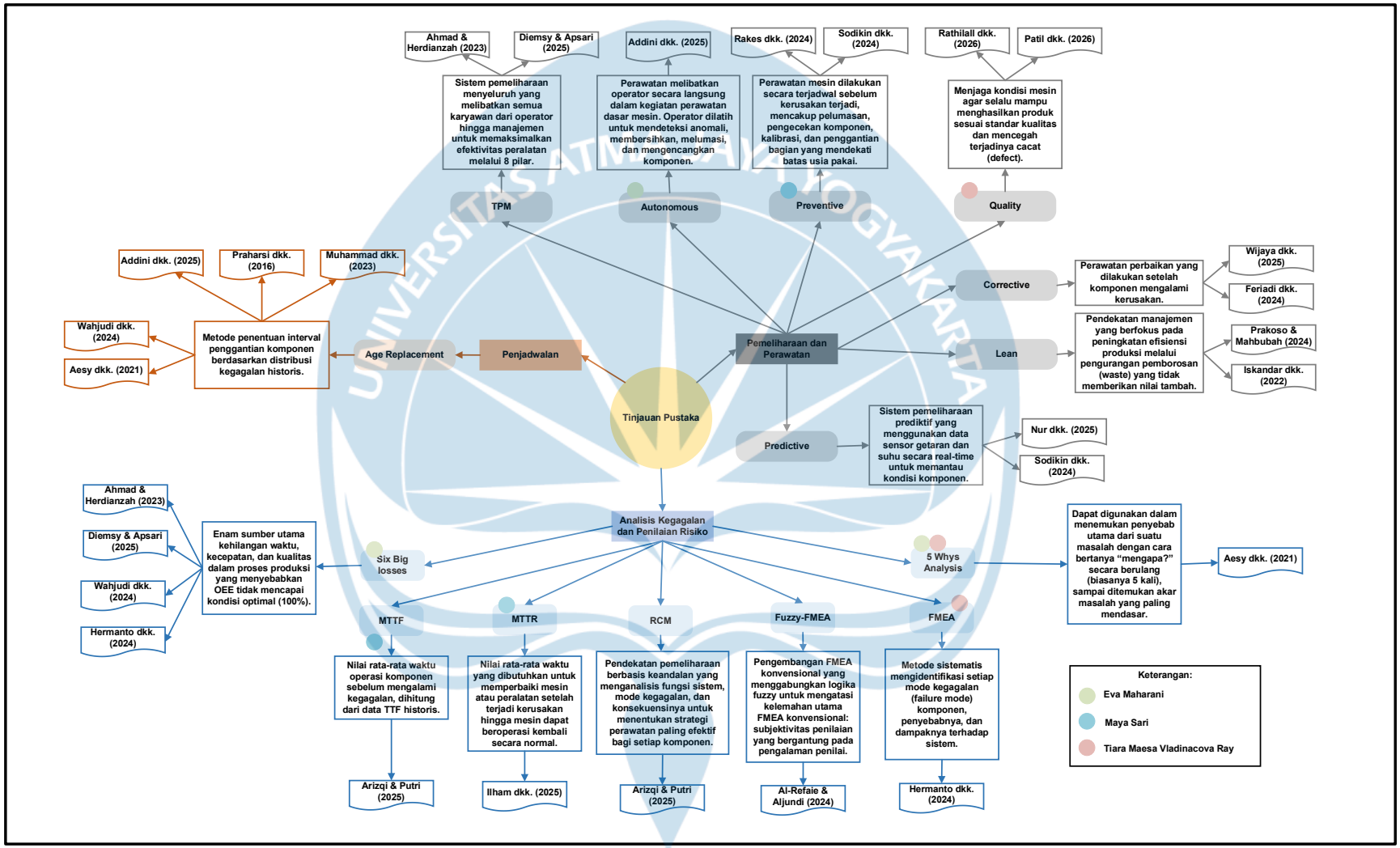
BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

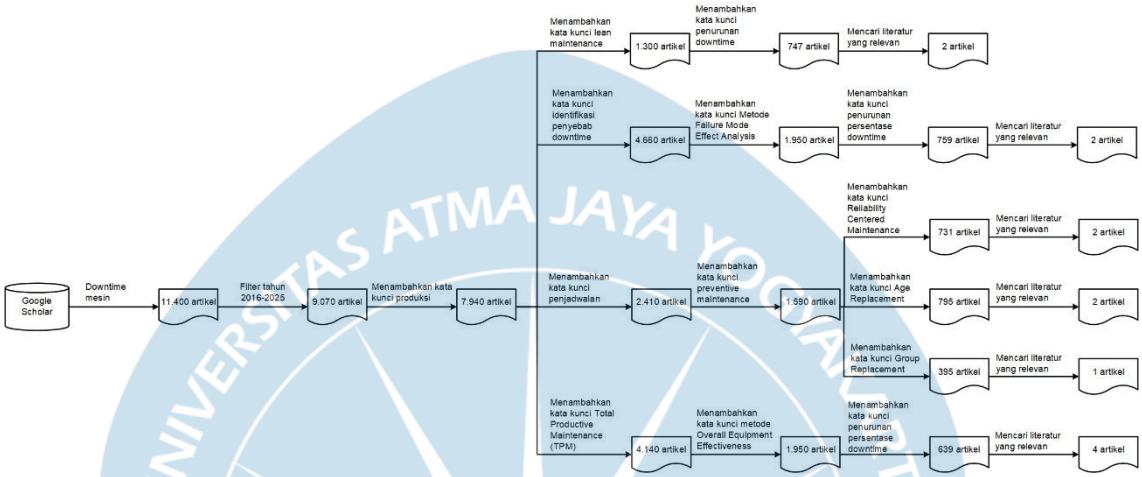
2.1 Tinjauan Pustaka

Mind mapping dibuatkan untuk menggambarkan hubungan antara daftar pustaka dan kutipan sebagai bagian dalam melakukan penyusunan Tugas Akhir. Pada *mind mapping* akan menjelaskan dua pembahasan terkait daftar pustaka dan kutipan yang akan digunakan sebagai landasan teori. Selain itu, *mind mapping* ini bertujuan untuk mempermudah pemahaman mengenai pembahasan yang digunakan dalam tinjauan pustaka, seperti pemeliharaan dan perawatan mesin, penjadwalan *maintenance*, analisis kegagalan dan risiko, serta metode pendukung lainnya yang berkaitan dengan perancangan.



Gambar 2.1 *Mind mapping* tinjauan pustaka

Penentuan metode yang tepat untuk mengatasi permasalahan terkait kerusakan mesin dilakukan melalui tinjauan pustaka terhadap berbagai penelitian dan perancangan sebelumnya yang memiliki topik serupa. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif mengenai pendekatan dan metode yang telah digunakan dalam studi terdahulu. Proses penelusuran literatur dilakukan melalui Google Scholar dengan menggunakan kata kunci yang ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Alur penelusuran pustaka

Ahmad & Herdianzah (2023) melakukan penelitian dengan menerapkan *Total Productive Maintenance* (TPM) sebagai solusi untuk meningkatkan produktivitas mesin *mixer* di PT Tempat Senang Laboratories melalui perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) guna mengidentifikasi faktor utama dalam *Six Big Losses* yang perlu diperbaiki. Hasil analisis menggunakan *diagram fishbone* menunjukkan bahwa *rework losses* menjadi penyebab utama penurunan efektivitas mesin sehingga perbaikan difokuskan pada faktor tersebut. Penelitian serupa yang dilakukan pada tahun 2024 di CV Cahaya Setia Mulia oleh Diemsy & Apsari (2025) juga menunjukkan bahwa penerapan TPM dengan pendekatan OEE mampu meningkatkan efektivitas mesin jahit dalam proses produksi. Rata-rata nilai OEE yang diperoleh sebesar 85,29%, telah memenuhi standar kelas dunia menurut *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM). Namun, hasil evaluasi *Six Big Losses* mengungkap bahwa *defect losses* menjadi penyebab utama penurunan efektivitas, dengan rata-rata kerugian mencapai 14,75% akibat faktor manusia, metode, dan kondisi mesin.

Addini dkk. (2025) melakukan penerapan *autonomous maintenance* dengan pemeliharaan kondisi mesin menggunakan *Cleaning Lubricating, Inspection*, dan *Tightening* (CLIT) dan penerapan *planned maintenance*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan rancangan penjadwalan dengan waktu pemeriksaan dan penggantian

untuk komponen pada mesin adalah 111 jam dan 180 jam dengan menggunakan metode *age replacement*. *Availability* yang didapatkan dari perhitungan *age replacement* adalah 98,78%. Wahjudi dkk. (2024) juga melakukan penelitian untuk pembuatan jadwal *preventive maintenance* yang mendukung dalam melakukan penerapan pada delapan pilar. Setelah menerapkan penjadwalan dan usulan-usulan perbaikan terdapat peningkatan pada nilai OEE menjadi 61,91%.

Rakes dkk (2024) melakukan penelitian pada PT MTAT Indonesia terkait tingginya frekuensi *downtime* pada mesin CNC yang berdampak signifikan terhadap penurunan efektivitas proses produksi, dengan menerapkan pendekatan *preventive maintenance* sebagai strategi utama perawatan mesin dan mengukur efektivitas melalui indikator *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *preventive maintenance* secara terjadwal mampu menurunkan frekuensi kerusakan serta meningkatkan nilai OEE, yang mencerminkan peningkatan aspek *availability*, *performance*, dan *quality* mesin. Penelitian oleh Ilham dkk. (2025) mengangkat permasalahan kerusakan mendadak pada mesin operasi di *Work Station Granulation* Unit System PT. OPQ yang menyebabkan terhentinya proses produksi urea granule akibat tidak adanya patokan interval waktu penggantian komponen yang terstruktur, sehingga penelitian menerapkan preventive *maintenance* melalui identifikasi komponen kritis dengan *diagram* pareto, perhitungan *Time to Failure* (TTF) *dan Time to Repair* (TTR), serta penentuan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) sebagai dasar interval waktu perawatan optimal, yang hasilnya terbukti mampu mencegah kerusakan mendadak dan menekan downtime produksi secara signifikan.

Penelitian oleh Wijaya dkk. (2025) mengangkat permasalahan kerusakan pada *deflector roll* di PT Pelat Timah Nusantara (Latinusa) Tbk yang ditandai dengan degradasi bearing, permukaan kotor, dan ketidakrataan *roll* yang menghambat kontinuitas produksi, sehingga penelitian menerapkan *corrective maintenance* dengan breakdown method melalui prosedur sistematis berupa pembongkaran, pemeriksaan, penggantian, pembersihan, penyeimbangan, dan perakitan ulang komponen, yang hasilnya membuktikan bahwa pelaksanaan *corrective maintenance* yang terorganisir mampu meningkatkan efisiensi perawatan sekaligus memperpanjang umur pakai komponen secara signifikan. Senada dengan hal tersebut, Feriadi dkk. (2024) mengangkat permasalahan kerusakan pada enam unit mesin bubut di bengkel pemesinan SMK Negeri 2 Pangkalpinang yang menyebabkan menurunnya ketersediaan mesin dan menghambat efektivitas kegiatan operasional, sehingga penelitian menerapkan *corrective maintenance* melalui kegiatan identifikasi masalah, perbaikan komponen, serta pembuatan komponen pengganti yang meliputi perbaikan *spindle gearbox*, sistem

transmisi, dan sistem kelistrikan mesin, dengan hasil seluruh unit mesin berhasil diperbaiki hingga kembali beroperasi secara normal dan layak digunakan.

Penelitian oleh Hermanto dkk. (2024) mengkaji mesin blanking di PT Indobaja Primamurni dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi penyebab utama kerusakan mesin yang menurunkan efektivitas produksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa komponen PLC, sistem pendingin, dan dies merupakan sumber utama *breakdown losses* yang berdampak langsung terhadap ketersediaan mesin. Oleh karena itu, peneliti merekomendasikan penerapan *preventive maintenance* terjadwal, pemantauan suhu secara *real-time*, serta pelatihan teknisi untuk mendukung deteksi dini kerusakan. Namun demikian, FMEA konvensional memiliki kelemahan berupa subjektivitas penilaian yang sangat bergantung pada pengalaman teknisi. Kelemahan ini kemudian diatasi melalui *Fuzzy*-FMEA, seperti pada penelitian Al-Refaie & Aljundi (2024), yang menggabungkan FMEA dengan logika *fuzzy* dan konsep *resilience engineering* untuk meningkatkan akurasi penilaian risiko. Pendekatan ini menghasilkan RPN yang lebih objektif, mampu mengidentifikasi mode kegagalan berisiko tinggi, menurunkan potensi *unexpected breakdown*, serta meningkatkan *Mean Time Between Failure* (MTBF).

Tingginya *downtime* pada mesin produksi menunjukkan perlunya sistem pemeliharaan yang lebih efisien, seperti yang terjadi pada PT XYZ yang menghadapi kerusakan berulang pada unit *Dozometer* sehingga memunculkan pemborosan waktu, pergerakan, dan keterlambatan penanganan akibat pemeliharaan yang belum optimal. Penelitian Prakoso & Mahbubah (2024) membuktikan bahwa penerapan *Lean Maintenance* melalui *Equipment Effectiveness*, *Maintenance Value Stream Mapping* (MVSM), identifikasi *Seven Waste*, *Root Cause Analysis*, *Cause–Effect Analysis*, dan analisis kelayakan dengan *Net Present Value* mampu mengidentifikasi aktivitas tidak bernilai tambah sekaligus menemukan akar penyebab pemborosan, sehingga efektivitas peralatan dapat ditingkatkan secara signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Iskandar dkk. (2022) pada mesin *cold pressed juicers* di PT Hom Kulinari Jaya, dimana perusahaan yang masih menerapkan *reactive* mengalami pemborosan besar namun berhasil menurunkan *downtime* setelah menggunakan *Maintenance Value Stream Mapping* (MVSM) dan *Why-Why Analysis* untuk merampingkan alur pemeliharaan.

Penelitian oleh Muhammad dkk. (2023) menerapkan metode *age replacement* pada mesin *sterilizer* di PT Bakrie Pasaman Plantations untuk menentukan interval penggantian komponen yang lebih efisien, dimana mesin yang telah beroperasi lebih dari tiga dekade tersebut sering mengalami kerusakan seperti kebocoran pipa dan pintu rebusan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian optimal untuk komponen

door packing dilakukan pada hari ke-31 dan *bearing* pada hari ke-35, yang terbukti lebih hemat dibandingkan biaya perawatan aktual perusahaan karena mampu menekan pengeluaran melalui penjadwalan penggantian yang tepat. Temuan ini selaras dengan penelitian Praharsi dkk. (2016) di PT Artha Prima Sukses Makmur, yang menunjukkan bahwa penerapan *preventive* berbasis *age replacement* dapat merancang interval penggantian dan pemeriksaan komponen secara lebih terstruktur, sehingga *downtime* dan biaya perawatan dapat ditekan secara signifikan tanpa mengganggu jadwal produksi.

Penelitian oleh Sodikin dkk. (2024) mengangkat permasalahan pemadaman listrik yang kerap terjadi di Kota Masohi akibat kerusakan mendadak pada mesin KOMATSU EGS 1200-6 di PT PLN (Persero) Pusat Listrik Masohi yang disebabkan oleh lemahnya sistem penjadwalan perawatan, dengan mengintegrasikan metode preventive *maintenance* dan *predictive maintenance* melalui klasifikasi ABC dan simulasi biaya pemeliharaan, sehingga menghasilkan strategi perawatan terdiferensiasi yang terbukti meningkatkan keandalan mesin sekaligus menekan biaya operasional. Sementara itu, Nur dkk. (2025) menerapkan sistem *predictive maintenance* berbasis sensor getaran dan suhu pada tugboat KOC QAATER untuk mengatasi kegagalan V-belt akibat sistem pemeliharaan yang masih reaktif dan keterbatasan *monitoring real-time*, dan hasilnya membuktikan bahwa pendekatan berbasis data sensor mampu mendeteksi gejala kerusakan lebih awal sehingga meningkatkan keandalan sistem transmisi tenaga dan efisiensi operasional kapal secara signifikan.

Penelitian oleh Arizqi & Putri (2025) menyoroti meningkatnya kerusakan pada mesin *press* di PT XYZ, khususnya pada komponen seperti stempel, piringan, dan *mouldbox* yang menyebabkan *downtime* dan menghambat pencapaian target produksi. Untuk mengatasi kondisi tersebut, penelitian menerapkan pendekatan terpadu melalui *Total Productive Maintenance* (TPM), *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), dan *Time-Based Maintenance* (TBM), yang didukung oleh analisis MTTF (*Mean Time to Failure*) dan MTTR (*Mean Time to Repair*) guna menentukan interval perawatan yang lebih efektif berdasarkan pola kegagalan komponen. Selain penyusunan jadwal perawatan, penelitian juga mengoptimalkan manajemen persediaan dengan metode *Reorder Point* (ROP) agar ketersediaan *spare part* tetap terkontrol tanpa pemborosan. Integrasi strategi perawatan dan pengelolaan persediaan tersebut terbukti dapat meningkatkan keandalan mesin sekaligus efisiensi operasional perusahaan.

Penelitian oleh Aesy dkk. (2021) mengangkat permasalahan tingginya *shortage material tread*, *sidewall*, dan *steel belt* di Departemen Material pada *plant* PCR perusahaan manufaktur ban, yang disebabkan oleh sistem penjadwalan yang tidak aktual, program

panduan dan *mapping* yang masih terpisah, serta keterbatasan perangkat keras sehingga mengakibatkan mesin *building* berhenti beroperasi dan target produksi tidak tercapai. Untuk mengatasi kondisi tersebut, penelitian melakukan perancangan ulang program sistem penjadwalan berbasis *Visual Basic for Application* (VBA) *Macro* Excel yang dilengkapi fitur *real time update* dan sistem monitoring jadwal pada monitor tiap mesin, dengan analisis masalah menggunakan *pareto chart*, *diagram fishbone*, dan metode 5 *why.* Hasil penelitian membuktikan bahwa sistem baru mampu mempercepat proses pembuatan jadwal, mengurangi perbedaan stok sistem dengan stok aktual, serta memproses jadwal hanya dalam satu tahapan sehingga berkontribusi signifikan terhadap pengurangan *shortage material* dan peningkatan kelancaran proses produksi.

Quality Maintenance merupakan salah satu pilar *Total Productive Maintenance* (TPM) yang bertujuan menjaga kondisi peralatan agar mampu menghasilkan produk sesuai standar kualitas dan meminimalkan terjadinya cacat. Penerapan *quality maintenance* didukung oleh penggunaan quality *tools*, prinsip manajemen mutu, serta perbaikan berkelanjutan dalam aktivitas pemeliharaan. Penelitian Rathilall dkk. (2026) yang berfokus pada identifikasi faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas *maintenance* pada industri pembangkit listrik, di mana hasil penelitian menjelaskan bahwa efektivitas *quality maintenance* dipengaruhi oleh pemanfaatan *quality tools*, pengelolaan data *maintenance*, dokumentasi yang memadai, serta kualitas pengerjaan pemeliharaan, di mana rendahnya penggunaan alat analisis kualitas dan tingginya *rework* dapat menghambat peningkatan kinerja *maintenance*. Selain itu Patil dkk. (2026) yang melakukan penelitian terkait efektivitas penggunaan *quality tools* dalam industri otomotif, menyatakan bahwa penggunaan *quality tools* seperti *Statistical Process Control* (SPC), *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), dan Poka-Yoke mampu mendukung penurunan *defect*, reliabilitas, serta perbaikan nilai OEE. Oleh karena itu, *quality maintenance* dapat dipandang sebagai upaya terintegrasi antara pemeliharaan dan pengendalian kualitas untuk meningkatkan keandalan peralatan, kualitas produk, dan produktivitas secara berkelanjutan.

Pada sistem manufaktur yang memproduksi berbagai jenis produk, keberadaan produk *reject* sering kali tidak dapat dihindari sehingga diperlukan proses *rework* untuk memenuhi target kualitas dan kuantitas produksi. Ali dkk. (2024) mengkaji sistem produksi dengan mempertimbangkan keterkaitan antara kualitas produk, keandalan mesin, dan penjadwalan produksi. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa produk yang tidak memenuhi spesifikasi harus diproses ulang, sehingga menambah jumlah jam kerja yang harus diproses mesin. Peningkatan beban kerja tersebut dapat mempercepat degradasi mesin, sementara degradasi mesin juga dapat meningkatkan munculnya

produk *nonconforming* yang memerlukan *rework*. Chiu dkk. (2022) melakukan penelitian sistem produksi yang menghadapi kondisi nyata berupa produk cacat, kerusakan mesin, peningkatan laju produksi, dan *outsourcing*. Oleh karena itu, tingginya tingkat *reject* yang memicu aktivitas *rework* dapat meningkatkan beban operasi mesin dan berkontribusi terhadap penurunan performa sistem produksi, sehingga diperlukan penerapan strategi pemeliharaan yang efektif untuk menjaga keandalan mesin dan kualitas produk.

Pemantauan dan pencatatan parameter operasi mesin melalui *checksheet* memiliki peran penting dalam menjaga kualitas produk karena parameter tersebut dapat digunakan sebagai indikator awal terjadinya penyimpangan proses produksi. Penelitian menunjukan bahwa data kondisi dan parameter peralatan yang dipantau secara *real time* mampu digunakan untuk memprediksi kualitas produk sebelum proses produksi selesai, sehingga mencegah terjadinya cacat produk (Yan & Duan, 2022). Selain itu, penelitian lain menunjukan bahwa integrasi data kondisi mesin dengan parameter kualitas produk dalam sistem predictive *maintenance* mampu mengidentifikasi hubungan antara penurunan performa mesin dan meningkatnya risiko produk cacat. Penelitian Nasr dkk. (2023) menjelaskan bahwa penyimpangan parameter yang tercatat pada *check sheet* tidak hanya mencerminkan kondisi kesehatan mesin, tetapi juga dapat menjadi dasar dalam pengendalian kualitas produk dan penentuan tindakan perawatan yang tepat untuk mencegah kerusakan mesin maupun peningkatan jumlah produk *reject*. Oleh karena itu, penggunaan *check sheet* parameter mesin secara rutin dapat mendukung upaya menjaga konsistensi kualitas produk melalui deteksi dini terhadap ketidaksesuaian kondisi operasi mesin.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil
1	Ahmad & Herdianzah (2023)	Mesin *Mixer* di PT Tempat Senang Laboratories	Sistem pemeliharaan di PT. Tempat Senang Laboratories belum optimal, sehingga sering terjadi kegagalan mesin (*breakdown*) yang menyebabkan rendahnya efisiensi produksi	Penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM) berbasis perhitungan OEE untuk meningkatkan efektivitas dan mengendalikan kerugian	Pendekatan *Total Productive Maintenance* dengan perhitungan *Overall Equipment Effectiveness* dan *diagram fishbone* digunakan untuk mengetahui sebab dan akibat dari *reduced speed losses*	Faktor utama penurunan efektivitas mesin adalah *rework losses*, sehingga perbaikan difokuskan pada aspek tersebut.
2	Diemsy & Apsari (2025)	Mesin jahit di CV Cahaya Setia Mulia	Efektivitas mesin rendah akibat frekuensi kerusakan dan *defect* tinggi	Penerapan TPM dengan pendekatan OEE untuk menilai efektivitas peralatan	TPM, OEE, dan *Six Big Losses Analysis*	Mengidentifikasi penyebab utama penurunan efektivitas yaitu *defect losses*
3	Addini dkk. (2025)	Mesin *Turret Milling* di perusahaan manufaktur	Kerusakan atau *downtime* pada mesin *turret milling*	Menerapkan *Total Productive Maintenance* (TPM) untuk meningkatkan efektivitas mesin *turret milling*	*Autonomous* dan *planned maintenance* serta *check sheet* CLIT dan perhitungan *age replacement*	Peningkatan *availability rate dan performance efficiency.*
4	Wahjudi dkk (2024)	Mesin Produksi timba plastik	Nilai *Overall Equipment Effectiveness* awal sangat rendah	Menerapkan *Total Productive Maintenance* (TPM)	Delapan pilar *Total Productive Maintenance* (TPM)	Peningkatan OEE, *performance rate* dan *quality rate*

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil
5	Rakes dkk. (2024)	Mesin CNC di PT MTAT Indonesia	Tingginya frekuensi *downtime* berdampak pada penurunan efektivitas proses produksi	Penerapan *preventive maintenance* terjadwal untuk menekan kerusakan mesin	*Preventive maintenance* pengukuran OEE	Penurunan frekuensi kerusakan mesin
6	Ilham dkk. (2025)	Mesin operasi di Work Station Granulation Unit System PT. OPQ	Proses produksi urea granule terhenti akibat tidak adanya patokan interval waktu penggantian komponen yang terstruktur	Penerapan *preventive maintenance*	*Diagram* pareto, *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time To Repair* (MTTR)	*Downtime* produksi menurun
7	Wijaya dkk. (2025)	Deflector roll di PT Pelat Timah Nusantara (Latinusa) Tbk	Degradasi *bearing*, permukaan kotor, dan ketidakrataan *roll* yang menghambat kontinuitas produksi	Penerapan *corrective maintenance*	*Breakdown method*	Peningkatan efisiensi perawatan dan umur pakai komponen
8	Feriadi dkk (2024)	Mesin bubut di bengkel pemesinan SMK Negeri 2 Pangkalpinang	Kerusakan pada enam unit mesin bubut yang menyebabkan menurunnya ketersediaan mesin dan menghambat efektivitas kegiatan operasional	Penerapan *corrective maintenance*	*Root Cause Analysis* (RCA)	Peningkatan performa, ketersediaan, dan efektivitas penggunaan mesin

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil
9	Hermanto dkk. (2024)	Mesin *Blanking* di PT Indobaja Primamurni	Tingginya frekuensi kerusakan yang menurunkan *availability* mesin	Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi penyebab utama *breakdown losses*	FMEA, analisis *Risk Priority Number* (RPN)	Peningkatan nilai Overall Equipment *Effectiveness* (OEE)
10	Al-Refaie & Aljundi (2024)	Lini produksi plastik	Subjektivitas tinggi dalam penilaian risiko FMEA konvensional	Pengembangan *Fuzzy*-FMEA berbasis logika *fuzzy* untuk meningkatkan objektivitas penilaian risiko	*Fuzzy*-FMEA, *Resilience Engineering*	Penilaian risiko yang lebih akurat dan mampu meningkatkan *Mean Time Between Failure* (MTBF) serta menekan *unexpected breakdown*
11	Prakoso & Mahbubah (2024)	*Dozometer* 18M4103 pada perusahaan manufaktur	*Downtime* mesin berlebih pada proses produksi	Penerapan *lean maintenance*	*Equipment Effectiveness*, *Maintenance Value Stream Mapping*, Identifikasi *Seven Waste*, *Root Cause Analysis*, *Cause Effect Analysis*, dan *Net Present Value*	Peningkatan efektivitas peralatan dan mengidentifikasi *waste* pada aktivitas perbaikan area mesin *dozometer*
12	Iskandar dkk. (2022)	Mesin *Cold Pressed Juicer* di PT Hom Kulinari Jaya	Pemeliharaan masih bersifat reaktif, menyebabkan *waste* waktu dan biaya	Penerapan *Lean Maintenance*	*Maintenance Value Stream Mapping* (MVSM), *Why-Why Analysis*, *Future State Mapping*	Mengidentifikasi *motion waste* dan *waiting waste* serta meningkatkan efisiensi pemeliharaan

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil
13	Muhammad dkk. (2023)	Mesin *Sterilizer* di PT Bakrie Pasaman Plantations	Frekuensi kerusakan tinggi akibat usia komponen melebihi umur pakai	Penentuan interval optimal penggantian komponen dengan *Age Replacement*	*Age Replacement Model*, analisis biaya penggantian	Menentukan waktu penggantian *doorpacking* dan *bearing*
14	Praharsi dkk. (2016)	Komponen *oil seal*, dan *screw* pada Mesin IM-A dan komponen *oil seal* Mesin IM-B PT Artha Sukses Makmur	Kerusakan mesin tinggi	Penjadwalan *preventive maintenance*	*Age replacement*	Penurunan waktu *downtime* dan biaya perawatan perbulan
15	Sodikin dkk. (2024)	Mesin KOMATSU EGS 1200-6 di PT PLN (Persero) Pusat Listrik Masohi	Pemadaman listrik yang kerap terjadi di Kota Masohi akibat kerusakan mendadak	Mengintegrasikan metode *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*	Klasifikasi ABC	Peningkatan keandalan mesin sekaligus menekan biaya operasional
16	Nur dkk. (2025)	Tugboat KOC QAATER	Kegagalan V-*belt* akibat sistem pemeliharaan yang masih reaktif dan keterbatasan *monitoring real-time*	Penerapan sistem *predictive maintenance* berbasis sensor getaran dan suhu	*Internet of Things (IoT)*	Peningkatan keandalan sistem transmisi tenaga dan efisiensi operasional kapal

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil
17	Arizqi & Putri (2025)	Mesin press di PT XYZ	Meningkatnya kerusakan pada mesin press	Menerapkan *Total Productive Maintenance* (TPM)	*Reliability-Centered Maintenance* (RCM), dan *Time-Based Maintenance* (TBM)	Peningkatan keandalan mesin.
18	Aesy dkk. (2021)	*Shortage material tread*, *sidewall*, dan *steel belt* di Departemen Material pada *plant* PCR perusahaan manufaktur ban	Sistem penjadwalan yang tidak aktual	Perancangan penjadwalan berbasis *Visual Basic for Application* (VBA) *Macro* Excel yang dilengkapi fitur *real time update*	Pareto *chart*, *diagram fishbone*, dan metode 5 *why*	Pengurangan *shortage* material dan peningkatan kelancaran proses produksi
19	Rathilall dkk. (2026)	Departemen *maintenance* pada pembangkit listrik tenaga batu bara di Afrika Selatan	Rendahnya efektivitas *maintenance* yang menyebabkan *downtime*, *backlog maintenance*, *rework*, dan penurunan reliabilitas peralatan	Pengembangan *Operational Quality Maintenance Freamework* yang mengintegrasikan *quality tools*, *continous improvement*, pengurangan *waste*, dan pengelolaan *service provider*	Survei kuantitatif, *Quality Tools*, ISO 9001:2015 *Quality Management Principles*	*Framework* yang dikembangkan mampu meningkatkan efektivitas *maintenance* dan pengurangan *rework* sehingga mendukung peningkatan reliabilitas dan kinerja operasional

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (lanjutan)

No	Pustaka	Objek	Masalah	Solusi	Metode dan *Tools*	Hasil
20	Patil dkk. (2026)	Industri otomotif di Pune, India	Belum optimalnya pemanfaatan *quality tools* dalam upaya peningkatan kualitas produk dan pengurangan *defect*	Identifikasi dan penerapan *niche quality tools* yang efektif untuk penyelesaian masalah kualitas	Survei, SPC, FMEA, Poka-Yoke, *Component Search, Variable Search, Paired Comparison, What-What-Not Analysis*	Penggunaan *quality tools* terbukti mendukung penurunan *defect*, peningkatan reliabilitas, peningkatan kualitas produk, serta perbaikan nilai OEE
21	Ali dkk. (2024)	Sistem manufaktur dengan *rework*	Degradasi mesin dan penurunan kualitas produk	Integrasi kebijakan produksi, *maintenance*, dan *quality control*	*Joint Production-Maintenance Optimization,* SPC, *Rework Policy*	Meminimalkan biaya total serta meningkatkan reliabilitas dan kualitas produk
22	Chiu dkk. (2022)	Sistem manufaktur dengan *rework* dan *machine failure*	Produk cacat, rework, dan kegagalan mesin	Optimasi perencanaan runtime produksi	*Runtime Planning Model, Rework Strategy, Machine Failure Analysis*	Menentukan *runtime* optimal dan menekan biaya produksi
23	(Yan & Duan, 2022)	*Smart factory*	Penurunan kualitas produk	Prediksi kualitas berbasis parameter mesin	*Machine learning, real-time monitoring*	Meningkatkan kemampuan deteksi dini produk cacat
24	Nasr dkk. (2023)	Peralatan/mesin pada produksi pada industri manufaktur	Degradasi mesin dan penurunan kualitas produk	Integrasi parameter kualitas produk dalam *predictive maintenance*	*Machine learning, predictive maintenance*	Meningkatkan akurasi *maintenance* dan kualitas produk

2.2 Dasar Teori

Dasar teori merupakan landasan yang digunakan dalam merancang solusi. Perancangan solusi yang dipilih terkait dengan penerapan metode *Total Productive Maintenance* (TPM).

2.2.1 Pengertian industri manufaktur kimia

Industri kimia merupakan sektor yang bergerak dalam produksi zat kimia, meliputi sub sektor petrokimia, agrokimia, farmasi, polimer, cat, dan oleokimia, dengan memanfaatkan berbagai proses kimia seperti reaksi, pemisahan, distilasi, dan transformasi bahan mentah menjadi produk akhir maupun produk antara yang bernilai tambah (Darni dkk., 2019). Sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian, industri memiliki peran penting dalam meningkatkan nilai tambah bahan mentah serta mendorong efisiensi pemanfaatan sumber daya. PT Indonesia Chemical Alumina merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri kimia melalui pengolahan bauksit menjadi alumina sebagai bahan baku utama industri aluminium.

2.2.2 Perawatan mesin atau *maintenance*

Maintenance atau pemeliharaan merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk memastikan suatu produk tetap berada dalam kondisi baik atau diperbaiki agar memenuhi standar yang dapat diterima (Nursanti dkk., 2019). Penurunan kemampuan mesin dan peralatan dapat terjadi dalam dua bentuk utama. Pertama, natural *deterioration*, yaitu penurunan kinerja mesin secara alami yang disebabkan oleh kondisi fisik mesin, seperti aus akibat pemakaian normal. Kedua, *accelerated deterioration*, yaitu penurunan kinerja yang dipercepat akibat faktor eksternal atau tindakan yang tidak sesuai prosedur, termasuk kesalahan operasional manusia (*human error*), pemeliharaan yang tidak tepat, atau penggunaan mesin di luar spesifikasi yang dianjurkan.

Menurut Sitinjak & Silalahi (2023) pemeliharaan mesin terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu *preventive maintenance* dan *corrective maintenance*. *Preventive maintenance* dilakukan secara rutin dan terjadwal untuk mencegah terjadinya kerusakan atau penurunan kinerja mesin, sehingga dapat memperpanjang umur pakai peralatan dan meminimalkan risiko *downtime*. Sementara itu, dan *corrective maintenance* dilakukan sebagai respons terhadap gangguan atau kerusakan yang telah terjadi, bertujuan untuk mengembalikan kondisi mesin ke performa normal.

2.2.3 *Total productive maintenance* (TPM)

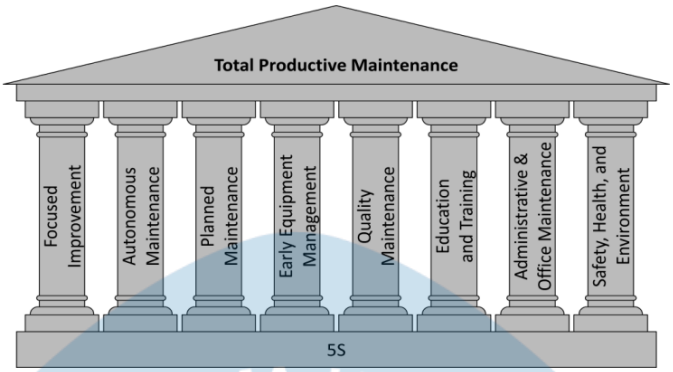
Menurut Agustiady dan Cudney (2016), *Total Productive Maintenance* (TPM) merupakan pendekatan pemeliharaan yang melibatkan seluruh bagian organisasi untuk meningkatkan efektivitas peralatan, produktivitas, dan kinerja operasional perusahaan. Pencapaian tujuan TPM menurut Nakajima (1988) dilakukan melalui:

a Perbaikan efektivitas peralatan: Mengidentifikasi dan memeriksa kerugian akibat *downtime*, kinerja mesin, atau cacat pada peralatan.
b Pemeliharaan individu: Operator bertanggung jawab atas tugas pemeliharaan, termasuk *preventive*, reparasi, dan perbaikan.
c Perencanaan pemeliharaan: Menetapkan standar kondisi, jadwal *Preventive maintenance*, serta tanggung jawab staf secara sistematis.
d Pelatihan staf: Memberikan keahlian yang sesuai dan berkelanjutan agar tugas pemeliharaan dapat dilaksanakan dengan baik.
e *Maintenance prevention* (MP): Mempertimbangkan potensi kegagalan sejak tahap desain, manufaktur, pemasangan, hingga persiapan, untuk mengurangi masalah sejak awal.
f Penelusuran akar masalah: Mengidentifikasi dan menghilangkan penyebab utama kerusakan, sehingga keandalan peralatan meningkat dan kondisi *zero maintenance* dapat tercapai.

Menurut Nakajima (1988), *Total Productive Maintenance* (TPM) dilaksanakan melalui berbagai aktivitas yang bertujuan untuk meningkatkan efektivitas peralatan dan produktivitas perusahaan, di antaranya *autonomous maintenance* dan *focused improvement* (*kaizen*). *Autonomous maintenance* menuntut operator untuk berperan aktif dalam menjaga kondisi peralatan melalui kegiatan pembersihan, inspeksi, pelumasan, pemantauan kondisi mesin, serta pelaporan potensi kerusakan kepada bagian *maintenance*. Sementara itu, *kaizen* berfokus pada perbaikan secara berkelanjutan dengan melibatkan seluruh anggota organisasi untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan produktivitas perusahaan.

Total Productive Maintenance (TPM) terdiri dari delapan komponen utama yang dikenal sebagai delapan pilar TPM (Yusrizal dkk., 2024). Setiap pilar memiliki fokus dan peran spesifik dalam meningkatkan efektivitas peralatan serta mendukung penerapan pemeliharaan menyeluruh di seluruh lini produksi. Pilar-pilar tersebut meliputi: *Autonomous maintenance*, *Planned Maintenance*, *Quality Maintenance*, *Education and Training*, *Early Equipment Management*, *Safety*, *Health*, and *Environment*, *Office* TPM, dan *Development Management* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1. Penerapan delapan pilar secara terpadu bertujuan untuk meminimalkan *downtime*, mengurangi

kerusakan, meningkatkan produktivitas, serta membangun budaya kerja proaktif dan perbaikan berkelanjutan di perusahaan.



Gambar 2.3 Delapan pilar *Total Productive Maintenance* (TPM)

2.2.4 *Analytic hierarchy process* (AHP)

Metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) merupakan salah satu metode dalam Sistem Pendukung Keputusan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kompleks dengan banyak kriteria (*Multi-Criteria Decision Making*) (Mayola dkk., 2023). Metode ini bekerja dengan cara menguraikan permasalahan ke dalam suatu struktur hierarki yang terdiri dari tujuan, kriteria, dan alternatif sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih sistematis dan terstruktur. AHP juga mampu mengakomodasi berbagai jenis data, baik kualitatif maupun kuantitatif, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih objektif yang lebih objektif dan dapat dipertanggungjawabkan. Dalam penelitian Aulia dkk. (2024) terkait menentukan kriteria kelulusan calon mahasiswa, AHP dinilai mampu memberikan hasil yang tepat dan akurat dalam menentukan kelulusan.

Langkah awal dalam AHP adalah menyusun matriks perbandingan berpasangan yang merepresentasikan tingkat kepentingan antar kriteria. Matriks ini berbentuk matriks persegi dan bersifat resiprokal, yaitu jika suatu elemen menunjukkan perbandingan antara kriteria i terhadap j, maka elemen sebaliknya merupakan kebalikannya.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{11} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{11} & a_{2n} \\ a_{n1} & a_{11} & a_{nn} \end{bmatrix} \tag{2.21}$$

dengan:

A = matriks perbandingan berpasangan

a_{ij} = tingkat kepentingan kriteria ke-i terhadap kriteria ke-j

n = jumlah kriteria

Hasil normalisasi kemudian digunakan untuk menghitung bobot prioritas masing-masing kriteria dengan cara menghitung rata-rata setiap baris pada matriks normalisasi. Bobot

ini menunjukkan tingkat kepentingan relatif dari setiap kriteria dalam proses pengambilan keputusan.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} a'_{ij}}{n} \quad (2.22)$$

dengan:

W_i = bobot prioritas kriteria ke-i

a'_{ij} = nilai hasil normalisasi

n = jumlah kriteria

Untuk memastikan bahwa penilaian yang diberikan konsisten, dilakukan uji konsistensi dengan menghitung nilai *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n\text{-}1} \quad (2.23)$$

dengan:

CI = *Consistency Index*

λ_{max} = nilai eigen maksimum dari matriks

N = jumlah kriteria

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.24)$$

dengan:

CR = *Consistency Ratio*

CI = *Consistency Index*

RI = *Random Index* (nilai acuan berdasarkan jumlah kriteria)

Nilai CR digunakan untuk menentukan apakah matriks perbandingan sudah konsisten. Jika nilai CR ≤ 0,1, maka matriks dianggap konsisten dan dapat digunakan. Sebaliknya, jika CR > 0,1, maka perlu dilakukan perbaikan terhadap penilaian yang diberikan. Tahap akhir dalam metode AHP adalah menghitung nilai akhir dari setiap alternatif dengan mengalikan nilai kriteria dengan bobotnya, kemudian menjumlahkan seluruh hasil tersebut untuk memperoleh peringkat alternatif.

$$\textit{Nilai Akhir} = \sum \textit{(Nilai kriteria} \times \textit{bobot kriteria)} \quad (2.25)$$

dengan:

Nilai kriteria = nilai performa alternatif pada setiap kriteria

Bobot kriteria = hasil perhitungan prioritas AHP

Nilai Akhir = hasil total yang digunakan untuk menentukan peringkat

Dengan demikian, metode AHP mampu memberikan pendekatan yang sistematis dalam pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan bobot kriteria secara objektif serta memastikan konsistensi dalam proses penilaian, sehingga hasil keputusan yang diperoleh menjadi lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

2.2.5 Perancangan lembar lembar kerja dan standar kegiatan perawatan untuk operator

Pada perancangan lembar kerja dan standar kegiatan untuk operator berkaitan dengan upaya peningkatan dalam proses produksi dengan melakukan pengendalian aktivitas operasional dan perawatan mesin pada pembelajaran mata kuliah Sistem Produksi (STIN24302). Sedangkan, dalam melakukan identifikasi akar penyebab penurunan kinerja mesin dan perancangan untuk melakukan tindakan perbaikan dalam mendukung kestabilan proses produksi berkaitan dengan mata kuliah Pengendalian Kualitas (STIN48603) melalui penggunaan metode *Diagram* Sebab-Akibat (*Fishbone*) dan 5 *Whys Analysis* serta penerapan standardisasi aktivitas operasional dalam mendukung konsistensi proses dan efektivitas kinerja mesin. Berikut dasar teori yang akan digunakan dalam melakukan perancangan solusi.

2.2.5.1 *Autonomous maintenance*

Autonomous Maintenance atau pemeliharaan otonom adalah kegiatan yang dirancang agar operator dapat terlibat dengan memiliki sasaran utama dalam pola hubungan antara tiga aspek dari manusia, mesin, dan tempat kerja yang bermutu (Mutmainah dkk., 2023). Menurut Ratlalan dkk. (2023), *Autonomous Maintenance* dirancang agar dapat melibatkan operator untuk merawat mesin secara mandiri. Kegiatan yang dilakukan oleh operator tersebut dapat meliputi pembersihan, pelumasan, pengencangan komponen pada mesin, pengecekan harian. Tujuan dari kegiatan tersebut adalah agar dapat melakukan pengembangan terhadap kemampuan operator untuk mendeteksi berbagai jenis kerugian. Serta, dapat menciptakan lingkungan tempat kerja yang bersih dan rapi yang dapat membantu dalam mendeteksi kondisi tidak normal secara cepat. Berikut langkah yang diterapkan dalam pengembangan *Autonomous Maintenance* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Langkah pengembangan *autonomous maintenance*

Langkah	Aktivitas
1. Pembersihan awal 2. Pengambilan tindakan pada sumber masalah	Operator membersihkan, melumasi, dan mengencangkan peralatan secara intensif, sambil aktif dengan mencari dan melakukan perbaikan kerusakan kecil serta menghilangkan sumber-sumber kotoran.

Tabel 2.2 Langkah pengembangan *autonomous maintenance* (lanjutan)

Langkah	Aktivitas
3. Standardisasi pembersihan dan pelumasan	Membuat pedoman yang jelas untuk melakukan pembersihan, pelumasan, dan pengencangan dengan tujuan utama mengurangi waktu yang diperlukan dalam aktivitas tersebut.
4. Inspeksi menyeluruh & 5. Inspeksi otonomi	Melatih seluruh operator dalam melakukan inspeksi secara manual dan memperbaiki kerusakan minor. Tahap ini diakhiri dengan operator merancang dan menggunakan *checklist* inspeksi mandiri.
6. Pengorganisasian	Menetapkan standar untuk menjaga kebersihan dan penataan tempat kerja (5S), serta menyusun sistem kontrol menyeluruh untuk inspeksi, pelumasan, pencatatan data, dan manajemen peralatan.
7. Pemeliharaan otonom penuh	Melakukan integrasi terhadap pemeliharaan otonom ke dalam tujuan perusahaan, meningkatkan konsistensi kegiatan, dan menggunakan data kinerja untuk perbaikan secara berkelanjutan dan desain alat ukur yang tepat.

Berdasarkan Tabel 2.2 ditunjukkan tujuh langkah pengembangan dalam penerapan *Autonomous Maintenance*, yang terdiri atas kegiatan pembersihan, inspeksi, pelumasan, dan pengencangan. Dalam melaksanakan *autonomous inspection* digunakan lembar pengecekan, serta pengaturan area kerja dengan melakukan penerapan standar. Kemudian, pada tahap paling akhir yaitu melakukan penerapan *full autonomous maintenance* dengan melakukan evaluasi dengan membandingkan sebelum dan sesudah di implementasikan.

2.2.5.2 *Overall equipment effectiveness* (OEE)

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah metode yang dapat digunakan untuk dijadikan alat ukur pada saat melakukan penerapan program TPM sehingga menjaga keadaan peralatan dalam kondisi yang ideal dengan melakukan eliminasi *Six Big Losses* pada mesin (Arifin, 2020). Metode ini dapat menunjukkan nilai terkait besarnya efektivitas yang dimiliki mesin. Selain itu dapat digunakan untuk melakukan pengukuran pada kinerja pada suatu sistem yang produktif. Menurut Ariyah (2022), *Overall Equipment Effectiveness* dapat menunjukkan besarnya efektivitas yang terdapat pada mesin, yang terdiri dari nilai availabilitas dari mesin, efisiensi pada kinerja dari proses serta *rate* mutu dari produk yang dihasilkan. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung nilai dari OEE dapat dilihat pada persamaan 2.1.

$$OEE\ (\%) = Availability\ (\%) \times Performance\ Rate\ (\%) \times Quality\ Rate\ (\%) \quad (2.1)$$

Menurut Kameiswara dkk. (2018) pada A*vailability Rate* merupakan rasio yang dapat menggambarkan keadaan dalam pemanfaatan waktu yang tersedia selama melakukan kegiatan operasi mesin. *Availability Rate* merujuk untuk proporsi ketika waktu tersedia dalam melakukan operasi (*operational time*) yang diperoleh dari pengurangan antara total waktu tersedia (*loading time*) dengan *downtime*, kemudian dibagi *loading time* (Kharisma & Maksum, 2024). Terdapat dua komponen yang dapat memengaruhi nilai *Availability* yaitu nilai dari *Equipment Failure* dan *Set Up and Adjustment*. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mengukur *availability* dapat dilihat pada persamaan 2.2.

$$Availability\ Rate = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (2.2)$$

Menurut Ariyah (2022) *Performance Rate* merupakan rasio yang dapat digunakan untuk menggambarkan kemampuan dari mesin dalam menghasilkan *output* atau barang. *Performance Rate* menunjukkan perbandingan dari produksi aktual dan produksi yang diantisipasi (Kharisma & Maksum, 2024). Terdapat dua komponen yang dapat memengaruhi nilai *Performance Rate* yaitu nilai dari *Reduced Speed* dan *Idling and Minor Stoppage*. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mengukur *performance efficiency* dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$Performance\ Rate = \frac{Processed\ Amount \times Ideal\ Cycle\ Time}{Operation\ Time} \times 100\% \quad (2.3)$$

Sedangkan, menurut Putri & Anwar (2020) *Quality Rate* menunjukkan tingkat kualitas dari produk yang telah dihasilkan dan diukur dengan menggunakan parameter. Pada *Quality Rate* merupakan rasio yang dapat digunakan untuk menggambarkan kemampuan dari mesin dalam menghasilkan produk yang telah sesuai dengan standar (Widyantoro dkk., 2020). Terdapat dua komponen yang dapat memengaruhi nilai *Quality Rate* yaitu nilai dari *Defect Losses* dan *Idling and Scrap/Yield loss*. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk mengukur *Quality Rate* dapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$Quality\ Rate = \frac{Processed\ Amount - Defect\ Amount}{Processed\ Amount} \times 100\% \quad (2.4)$$

2.2.5.3 *Six big losses*

Six Big Losses merupakan enam kerugian besar yang dapat menyebabkan rendahnya kinerja dari mesin (Chang dkk., 2023). Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui

penyebab kegagalan dan faktor yang paling berpengaruh dalam breakdown mesin. Menurut Suwardiyanto dkk. (2020) tujuan utama menggunakan metode ini adalah melakukan identifikasi, pengukuran dan mengatasi untuk enam faktor utama dari sebab kerugian yang berkaitan dengan efisiensi dan produktivitas pada proses produksi. Penjelasan terkait enam kerugian tersebut adalah sebagai berikut.

a. Equipment failure

Kegagalan pada mesin pada saat melakukan proses (*Equipment Failure*) atau kerusakan (*breakdown*) yang secara mendadak dan tidak diinginkan. Kerugian ini merupakan penyebab dari kerugian yang dapat terlihat dengan jelas, akibat dari kerusakan tersebut dapat menyebabkan mesin tidak dapat menghasilkan *output* . Dalam menghitung *equipment failure* memerlukan data *downtime* dan *loading time* pada saat proses produksi (Adhesive dkk., 2022). Persamaan 2.5 digunakan dalam menghitung nilai *Equipment Failure.*

$$Equipment\ Failure = \frac{Total\ Downtime}{Loading\ Time} \times 100\% \qquad (2.5)$$

b. Setup and adjustment loss

Pada saat melakukan pengoperasian pada mesin yang dihidupkan ulang, aktivitas tersebut memerlukan pengaturan terhadap mesin dan waktu dalam penyesuaian. Menurut Adhesive dkk. (2022) *Setup and Adjustment Loss* merupakan suatu kerugian yang terjadi akibat waktu pembebanan pada mesin yang digunakan dalam mempersiapkan peralatan tetapi tidak terdapat *output*. Dalam melakukan perhitungan *setup* dan *adjustment loss* dengan menggunakan data pada saat *setup* mesin sedang rusak dan perawatan pada setiap mesin (Wahid dkk., 2022). Persamaan 2.6 digunakan untuk menghitung nilai *Setup and Adjustment Loss*.

$$Setup\ and\ Adjustment\ Loss = \frac{Total\ Setup\ and\ Adjustment\ Loss}{Loading\ Time} \times 100\% \qquad (2.6)$$

c. Idle and minor stoppage

Kerugian yang diakibatkan oleh mesin mengalami henti sesaat. Menurut Wahid dkk. (2022) *idle and minor stoppage* merupakan jenis kerugian yang penyebabnya ketika mesin mengalami keadaan berhenti sesaat. Kerugian seperti ini tidak dapat terdeteksi langsung tanpa menggunakan pelacak. Operator tidak dapat melakukan perbaikan pada saat pemberhentian yang memiliki sifat *minor stoppage*, maka hal tersebut dapat dianggap menjadi bagian dari *breakdown* (Wahid dkk., 2022). Persamaan 2.7 digunakan untuk menghitung nilai *Idle and Minor Stoppage*.

$$Idle\ and\ Minor\ Stoppage = \frac{(Jumlah\ target - jumlah\ produksi) \times ideal\ cycle\ time}{Loading\ Time} \times 100\% \qquad (2.7)$$

d. Reduced speed

Reduced Speed merupakan perbedaan dari kecepatan saat produksi aktual dengan kecepatan saat produksi yang ideal pada mesin (Wahid dkk., 2022). Jenis kerugian ini menunjukan mesin bekerja secara tidak optimal atau mengalami penurunan kecepatan pada produksi. Menurut Kameiswara dkk. (2018) kerugian ini terjadi karena terdapatnya penurunan pada kecepatan mesin yang menyebabkan mesin tidak beroperasi secara normal. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *Reduce Speed* dapat dilihat pada persamaan 2.8.

$$Reduced\ Speed = \frac{Operation\ time - (Ideal\ cycle\ time \times Total\ Product\ Process)}{Loading\ Time} \times 100\% \qquad (2.8)$$

e. Defect losses

Defect Losses merupakan kerugian yang diakibatkan karena *output* dari produksi tersebut terdapat kekurangan (cacat) setelah selesai dari tahapan proses produksi (Kameiswara dkk., 2018). *Defect* merupakan hal yang harus diminimalkan dan dihilangkan pada saat proses produksi. Selain itu, terdapatnya produk *defect* dapat memberikan kerugian pada waktu dan material. Menurut Suwardiyanto dkk. (2020) kerugian ini juga dapat disebabkan karena produk tidak diproduksi dengan tepat sejak awal proses produksi. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *Defect in process* dapat dilihat pada persamaan 2.9.

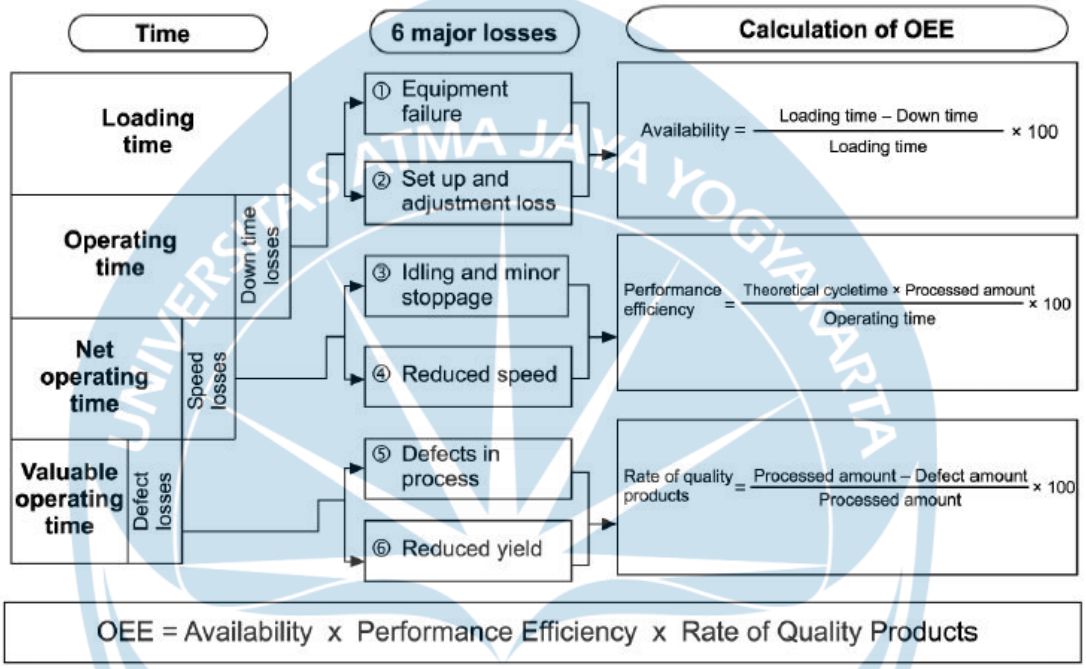
$$Defect\ Losses = \frac{Total\ reject \times Ideal\ cycle\ time}{Loading\ Time} \times 100\% \qquad (2.9)$$

f. Scrap/yield loss

Yield atau *Failure Losses* yang merupakan kerugian terjadi pada saat proses manufaktur, seperti tidak dapat mencapai kondisi manufaktur yang stabil mulai dari awal proses hingga keadaan saat proses yang stabil dapat tercapai (Wahid dkk., 2022). Sedangkan, menurut Chang dkk.(2023) kerugian ini dapat disebabkan terdapatnya sampan dari bahan baku atau produk yang tidak dapat memenuhi spesifikasi yang sesuai dari standar perusahaan. Persamaan 2.10 digunakan dalam perhitungan nilai *Scrap/Yield loss*.

$$Scrap/Yield\ Loss = \frac{Ideal\ cycle\ time \times Scrap}{Loading\ Time} \times 100\% \qquad (2.10)$$

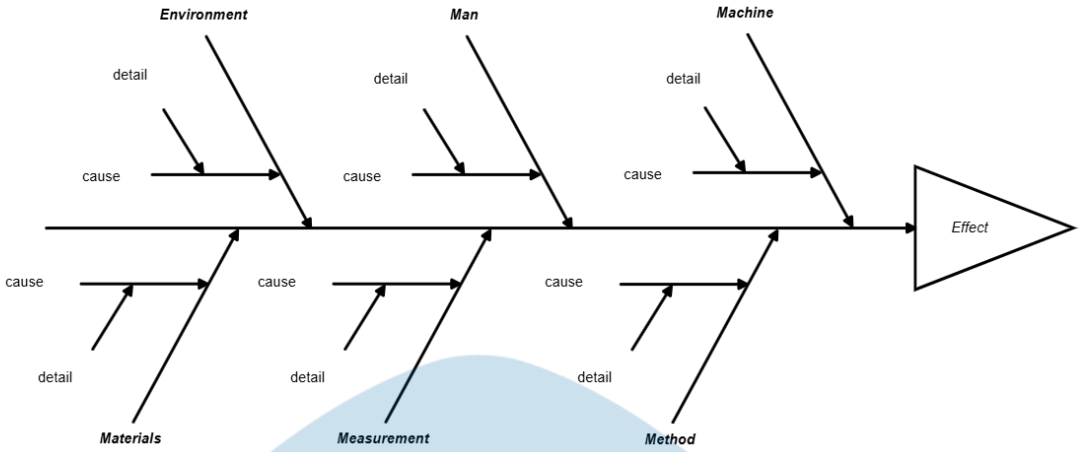
Perhitungan dari *Six Big Losses* digunakan untuk mengetahui nilai *Overall Equipment Effectiveness* pada suatu mesin agar dapat mengambil langkah-langkah yang akan digunakan dalam perbaikan mesin dengan efektif. Dalam garis besar terdapat enam kerugian dalam mengidentifikasi hal tersebut dengan melakukan pemetaan untuk beberapa klasifikasi pada pemesinan antara lain, seperti *loading time* (waktu proses), *operating time* (waktu operasi), *net operating time* (waktu operasi bersih), dan *valuable operating time* (operasi yang bernilai tambah) yang dapat dilihat Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness*

2.2.5.4 *Diagram* sebab-akibat (*Fishbone*)

Diagram sebab-akibat atau *fishbone diagram* adalah alat yang dapat digunakan untuk melakukan identifikasi akar penyebab dari masalah (Ariyah, 2022). Bentuk dari *diagram* tersebut seperti tulang ikan, dengan masalah utamanya pada bagian kepala, sedangkan faktor penyebab terdapat pada bagian cabang-cabang. Tulang ikan menggambarkan hubungan antara masalah yang diidentifikasi, akar penyebab masalah, dan variabel yang dapat memengaruhi terkait masalah tersebut. Penyebab tersebut terdiri dari beberapa faktor masalah yaitu dari manusia, mesin, bahan, lingkungan, dan proses kerja (Rayana dkk., 2022). Faktor tersebut dapat digunakan untuk mengategorikan gagasan-gagasan. Berikut gambar *diagram* tulang ikan dan identifikasi faktor permasalahan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Identifikasi faktor dalam *diagram fishbone*

2.2.5.5 5 *Whys analysis*

5 *Whys Analysis* merupakan cara melakukan pendekatan terstruktur dengan mengajukan pertanyaan mengapa berulang kali agar dapat memahami penyebab dari masalah (Ardiansyah dkk., 2025). Menurut Fretes (2022) penggunaan metode 5 *Whys Analysis* merupakan metode yang melakukan analisis penyebab masalah atau *root cause* dengan cara paling sederhana. Kelebihan dalam menggunakan metode 5 Whys *Analysis* yaitu dalam melakukan analisis dan identifikasi terhadap kegagalan pada suatu proses, serta akar penyebab masalah awal. Menurut Artamonova dkk. (2026) Tahapan pengunaan metode 5 *Whys Analysis* diawali dengan melakukan identifikasi terhadap masalah dan mengajukan pertanyaan mengapa dengan cara bertahap hingga menemukan akar penyebab utamanya. Pada saat melakukan pengulangan pertanyaan ini umumnya dilakukan hingga lima kali dengan memiliki tujuan untuk menggali penyebab yang mendasar, bukan gejala pada permukaan saja. Metode ini dapat bermanfaat dalam melakukan identifikasi terhadap akar penyebab permasalahan, dalam menentukan hubungan antar akar-akar dari penyebab permasalahan, dan merupakan menjadi salah satu alat dalam melakukan penyelesaian masalah yang paling mudah (Sibarani dkk., 2023).

2.2.6 Perancangan sistem penjadwalan pergantian kain *filter* mesin PFS-F berbasis *Mean Time to Failure* (MTTF)

Perancangan sistem penjadwalan pergantian kain *filter* pada mesin PFS-F berbasis *Mean Time to Failure* (MTTF) disusun dengan mengacu pada konsep teoritis serta materi dari berbagai mata kuliah yang telah dipelajari. Analisis *Goodness of Fit* (GOF) dan estimasi parameter distribusi data mengacu pada mata kuliah Pengantar Probabilitas (STIN13203) dan Statistika Inferensial (STIN31403). Sementara itu,

perancangan sistem, khususnya dalam penyusunan *diagram* dekomposisi, *Data Flow Diagram* (DFD), dan *Entity Relationship Diagram* (ERD), didasarkan pada materi dalam mata kuliah Proses Bisnis dan Sistem Informasi (STIN40502). Selain itu, penerapan aspek ergonomi pada pemilihan jenis huruf dan kombinasi warna dalam sistem mengacu pada mata kuliah Praktikum Ergonomika (STIN29401).

2.2.6.1 *Preventive maintenance*

Menurut Kusnanto & Sugianto (2021), *preventive maintenance* adalah aktivitas perawatan yang dilakukan sebelum komponen mengalami kerusakan. Tujuan dari kegiatan ini, seperti dijelaskan oleh Azizah dkk. (2020) adalah untuk mengurangi risiko terjadinya *breakdown* pada mesin sehingga proses produksi dapat berjalan sesuai rencana dan hasil produk tetap memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Dengan menerapkan *preventive maintenance*, perusahaan dapat meminimalkan gangguan operasional, memperpanjang umur mesin, dan meningkatkan efisiensi produksi secara keseluruhan. Selain itu, sistem perawatan ini juga mendukung perencanaan pemeliharaan yang lebih terstruktur, termasuk penjadwalan inspeksi rutin, pelumasan, penggantian komponen, dan pemantauan kondisi mesin secara berkala, sehingga risiko kerusakan yang tidak terduga dapat ditekan secara signifikan.

2.2.6.2 Distribusi probabilitas

Distribusi probabilitas terbagi menjadi dua jenis yaitu distribusi probabilitas diskrit dan distribusi probabilitas kontinu (Najwa & Maulana, 2025). Distribusi probabilitas diskrit menggambarkan peluang variabel acak yang nilainya dapat dihitung, seperti distribusi Binomial, Multinomial, Hipergeometrik, *Negative* Binomial, Geometrik, dan Poisson. Sedangkan distribusi probabilitas kontinu digunakan untuk merepresentasikan variabel acak yang nilainya berada dalam suatu rentang tertentu dan dapat bernilai tak hingga, seperti *time to failure* (TTF) dan *time to repair* (TTR). Menurut Montgomery (2012) terdapat empat jenis distribusi kontinu yaitu distribusi normal, distribusi lognormal, distribusi weibull dan distribusi eksponensial.

2.2.6.3 *Mean time to failure* (MTTF) dan *Mean time to repair* (MTTR)

Menurut Imaduddin & Sianturi (2019), *Mean Time to Failure* (MTTF) merupakan rata-rata interval waktu antara satu kejadian kerusakan dengan kerusakan berikutnya pada suatu mesin. MTTF digunakan sebagai indikator keandalan mesin dalam jangka waktu tertentu. Sementara itu *Mean Time to Repair* (MTTR) mengacu pada rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan perbaikan pada komponen yang rusak hingga mesin kembali beroperasi secara normal (Fatma dkk., 2020). Menurut Astuti dkk. (2016)

perhitungan MTTF dan MTTR untuk masing-masing distribusi kontinu termuat pada Persamaan 2.10 hingga 2.13.

a. Distribusi normal

Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) untuk data yang terdistribusi normal dapat menggunakan Persamaan 2.10. Sedangkan perhitungan *Mean Time to Repair* pada data yang terdistribusi normal dapat menggunakan Persamaan 2.11.

$$MTTF = \mu \tag{2.11}$$

dengan:

μ = rata-rata

b. Distribusi lognormal

Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk data yang terdistribusi lognormal dapat menggunakan Persamaan 2.12.

$$MTTF = t_{med} \times e^{\frac{s^2}{2}} \tag{2.12}$$

dengan:

t_{med} = nilai tengah (median)

s = *shape parameter*

Median distribusi lognormal dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.13.

$$t_{med} = e^{\mu} \tag{2.13}$$

dengan:

μ = parameter lokasi

Sehingga, perhitungan MTTF dan MTTR pada distribusi lognormal dapat menggunakan persamaan 2.14.

$$MTTF / MTTR = e^{\mu} \times e^{\frac{s^2}{2}} = e^{\mu + \frac{s^2}{2}} \tag{2.14}$$

c. Distribusi weibull

Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk data yang terdistribusi Weibull dapat menggunakan Persamaan 2.15.

$$MTTF = \theta \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \tag{2.15}$$

dengan:

θ = *Scale parameter*

β = *shape parameter*

d. Distribusi eksponensial

Perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF) dan *Mean Time to Repair* (MTTR) untuk data yang terdistribusi Weibull dapat menggunakan Persamaan 2.16.

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \tag{2.16}$$

dengan:

λ = rata-rata waktu kerusakan

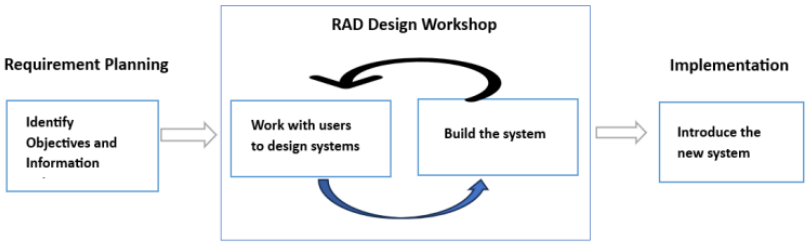
2.2.6.4 Sistem Informasi

Sistem informasi adalah kumpulan komponen teknologi informasi yang bekerja secara terpadu untuk menghasilkan informasi sebagai sarana komunikasi dalam suatu organisasi atau kelompok (Seah & Ridho, 2020). Dalam proses perancangannya, diperlukan metodologi pengembangan sistem yang terstruktur agar sistem informasi yang dikembangkan dapat sesuai dengan kebutuhan pengguna dan tujuan perusahaan. Menurut Hartono (2021), terdapat berbagai metode yang dapat digunakan dalam pengembangan sistem, antara lain *System Development Life Cycle* (SDLC), *Waterfall*, *Prototyping*, *Rapid Application Development* (RAD), *Spiral Model*, *V-Model*, *End-User Development*, dan *Outsourcing*. Setiap metode memiliki karakteristik, tahapan, serta keunggulan yang berbeda sehingga pemilihannya perlu disesuaikan dengan kebutuhan, kompleksitas, dan tujuan pengembangan sistem yang dirancang.

2.2.6.5 *Rapid application development* (RAD)

Menurut Sitio (2023), *Rapid Application Development* (RAD) merupakan metode pengembangan sistem yang menekankan siklus pengembangan dalam waktu relatif singkat sehingga mempercepat proses pengembangan sistem. Menurut Noviana dkk. (2024) terdapat tiga tahapan dalam metode RAD yaitu sebagai berikut.

a. *Requirement planning*, merupakan tahap awal dimana *user* dan analis bertemu bersama untuk mengidentifikasi tujuan sistem serta kebutuhan informasi yang diperlukan
b. *Design workshop*, merupakan tahap dimana proses perancangan sistem dilakukan secara kolaboratif antara *user* dan analis, dimana *user* dapat langsung memberikan masukan atau koreksi jika terdapat ketidaksesuaian pada desain yang dibuat hingga tercapai kesepakatan bersama
c. *Implementation*, tahap dimana penulis mengubah desain yang telah disetujui menjadi sebuah sistem, kemudian dilakukan pengujian sebelum sistem diterapkan, dengan tetap melibatkan *user* untuk memberikan penilaian dan persetujuan akhir terhadap sistem yang dibangun.



Gambar 2.6 Tahapan metode *Rapid Application Development* (RAD)

2.2.6.6 Microsoft Excel dan *macro visual basic for applications* (VBA)

Microsoft Excel merupakan perangkat lunak spread*sheet* elektronik serbaguna yang dirancang untuk membantu pengguna dalam menyusun, menghitung, serta mengolah kumpulan data, termasuk menyajikannya dalam bentuk visual seperti grafik maupun *diagram* (Rahmawati dkk., 2021). Dalam Microsoft Excel terdapat berbagai fitur unggulan, di antaranya pengolahan data, pembuatan grafik, penggunaan rumus dan fungsi, manajemen tabel, serta *Macro Visual Basic for Application* (VBA). Dengan memanfaatkan bahasa pemrograman VBA, fitur *Macro* pada Microsoft Excel mampu mengubah serangkaian pekerjaan berulang di lembar kerja menjadi proses otomatis yang jauh lebih efisien dan mudah dikerjakan (Reza dkk., 2022).

2.2.6.7 Ergonomi huruf dan warna

Penerapan ergonomi pada perancangan sistem diperlukan untuk menyesuaikan rancangan antarmuka, metode, dan proses penggunaan sistem dengan kemampuan serta keterbatasan pengguna. Ergonomi bertujuan menciptakan sistem yang aman, nyaman, mudah digunakan, dan efisien sehingga dapat mendukung efektivitas penggunaan sistem serta meningkatkan produktivitas pengguna (Negara, 2019). Salah satu aspek ergonomi pada perancangan sistem adalah keterbacaan tampilan, termasuk ukuran huruf yang digunakan. Salah satu aspek ergonomi pada perancangan sistem adalah keterbacaan tampilan, termasuk ukuran huruf yang digunakan. Menurut Kroemer dan Grandjean (1997), ukuran huruf dipengaruhi oleh jarak pandang pengguna terhadap objek dan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.17 hingga Persamaan 2.20. Hasil perhitungan ukuran huruf tersebut kemudian dapat dikonversikan ke dalam satuan *point* (pt) yang merupakan satuan pengukuran tipografi untuk menentukan ukuran *font* pada tampilan sistem. Menurut Firman & Ananta (2026), 1 *point* (pt) setara dengan 1/72 inci sehingga 72 *point* sama dengan 1 inci.

$$H = \frac{Jarak\ visual\ (mm)}{200} \tag{2.17}$$

$$Tebal\ huruf\ besar = \frac{H}{6} \quad (2.18)$$

$$h = \frac{2H}{3} \quad (2.19)$$

$$Tebal\ huruf\ kecil = \frac{h}{6} \quad (2.20)$$

dengan:

H = tinggi huruf besar

h = tinggi huruf kecil

Selain ukuran huruf, komposisi warna juga menjadi aspek penting dalam penerapan ergonomi pada perancangan sistem. Pantulan cahaya yang diterima oleh indera penglihatan memungkinkan pengguna melihat objek dengan jelas, sehingga tingkat keterbacaan tampilan dipengaruhi oleh kontras dan kombinasi warna yang digunakan. Pemilihan warna yang tepat dapat membantu pengguna memahami informasi lebih cepat dan meningkatkan kenyamanan visual saat menggunakan sistem. Selain itu, warna juga memberikan efek psikologis terhadap pengguna selama berinteraksi dengan sistem (Irwanti & Yusuf, 2022). Kriteria *legibility* menurut Woodson dan Conover (1964) disajikan pada Tabel 2.3, sedangkan klasifikasi efek psikologis warna disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.3 *Legibility* warna

Penilaian	Warna Huruf	*Background*
Sangat Bagus	Hitam	Putih
Bagus	Hitam	Kuning
	Biru Tua	Putih
	Hijau	Putih
Sedang	Merah	Putih
	Merah	Kuning
Buruk	Hijau	Merah
	Merah	Hijau
	Oranye	Hitam
	Oranye	Putih

Tabel 2.4. Efek psikologis warna

Warna	Efek jarak	Efek suhu	Efek psikis
Biru	Jauh	Sejuk	Menenangkan
Hijau	Jauh	Sangat sejuk-netral	Sangat menenangkan
Merah	Dekat	Panas	Sangat menggugah
Oranye	Sangat dekat	Sangat panas	Merangsang
Kuning	Dekat	Sangat panas	Merangsang
Coklat	Sangat dekat	Netral	Merangsang
Lembayung	Sangat dekat	Sejuk	Agresif, terkesan, melesukan
Putih	Dekat	Netral	Bersih

2.2.5.8 *Black Box Testing*

Black Box Testing merupakan metode pengujian spesifikasi fungsional yang digunakan untuk mengetahui kesesuaian fungsi masukan dan keluaran perangkat lunak dengan spesifikasi yang dibutuhkan (Hasanah & Untari, 2021). Metode ini dilakukan dengan menguji setiap fitur sistem berdasarkan *input* dan *output* yang dihasilkan tanpa melihat kode program. Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi pada sistem dapat berjalan sesuai kebutuhan pengguna.

2.2.7 Perancangan lembar pengendalian parameter pada mesin *tube mill with grinding* untuk produk H32

Pada perancangan lembar kerja pengendalian parameter untuk mesin *tube mill* pada Produk H32, penerapan sistem *monitoring* melalui pencatatan berbasis *check sheet* diidentifikasi melalui penggunaan metode *Risk Matrix* pada mata kuliah Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja (STIN47602). Sedangkan, dalam melakukan identifikasi akar penyebab terjadinya kegagalan produk berkaitan dengan mata kuliah Pengendalian Kualitas (STIN48603) melalui penggunaan metode *Diagram* Sebab-Akibat (*Fishbone*), 5 *Whys Analysis,* dan *Failure Mode and Effect* (FMEA).

2.2.7.1 *Quality maintenance*

Pada perkembangan industri manufaktur, keberhasilan produksi tidak hanya ditentukan oleh kemampuan mesin bekerja, tetapi juga berdasarkan konsistensi kualitas *output*, dan pada tahap ini peran konsep *quality maintenance* menjadi sangat penting. *Quality maintenance* dipahami sebagai pendekatan perawatan mesin dan peralatan yang bertujuan menjaga mutu produk, menghindari cacat produksi, dan memastikan stabilitas proses produksi dalam jangka panjang.

Integrasi antara produksi, *maintenance*, dan *quality* justru muncul sebagai keterkaitan yang saling memengaruhi (Hafidi dkk., 2023). Perubahan kondisi mesin dan pengaturan parameter produksi dapat berdampak langsung terhadap kualitas hasil produksi serta kelancaran proses operasional. Berdasarkan hal tersebut koordinasi dan pengendalian yang konsisten antarbagian menjadi penting untuk meminimalkan terjadinya *reject* dan menjaga stabilitas proses produksi. Menurut Nasr dkk. (2023), metode berbasis *machine/deep learning* memungkinkan sistem manufaktur memanfaatkan data seperti data produksi, data kualitas, untuk membuat keputusan pemeliharaan dan kontrol kualitas secara tepat dan prediktif. Metode ini membantu mengidentifikasi potensi kerusakan atau deviasi kualitas sebelum mesin terkena dampak negatif. Oleh karena itu *quality maintenance* berperan sebagai strategi pemeliharaan mesin produksi yang dirancang secara sistematis sedemikian rupa sehingga kualitas *output* tetap stabil, termasuk mengantisipasi degradasi mesin, mengatur kontrol proses, dan menyinkronkan *maintenance* dengan jadwal produksi.

2.2.7.2 *Risk Matrix*

Menurut Lemmens dkk. (2022), penggunaan *Risk Matrix* diawali dengan mengidentifikasi risiko atau permasalahan yang akan dievaluasi. Setelah risiko teridentifikasi, dilakukan penilaian terhadap tingkat kemungkinan terjadinya risiko (*likelihood*) dan besarnya dampak yang ditimbulkan (*impact*/*consequence*). Nilai *likelihood* menggambarkan frekuensi atau peluang suatu risiko terjadi, sedangkan nilai *impact* menggambarkan tingkat konsekuensi yang ditimbulkan apabila risiko tersebut terjadi. Kedua nilai tersebut kemudian dipetakan ke dalam matriks risiko sehingga diperoleh tingkat risiko yang digunakan sebagai dasar penentuan prioritas penanganan. Risiko dengan kombinasi *likelihood* dan *impact* yang tinggi akan menjadi prioritas utama untuk dilakukan tindakan perbaikan atau mitigasi. Secara umum, Acebes & Pajares (2024) menjelaskan bahwa *Risk Matrix* menggunakan skala ordinal, umumnya 1-5, baik untuk *likelihood* maupun *impact*. Nilai risiko diperoleh dari hasil perkalian kedua parameter tersebut sehingga menghasilkan skor risiko yang selanjutnya dikategorikan menjadi risiko rendah, sedang, tinggi, atau ekstrem. Semakin besar skor yang diperoleh, semakin tinggi prioritas risiko untuk ditangani.

Perhitungan tingkat risiko dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\textit{Risk Score} = \textit{Likelihood} \times \textit{Impact} \tag{2.21}$$

Keterangan:

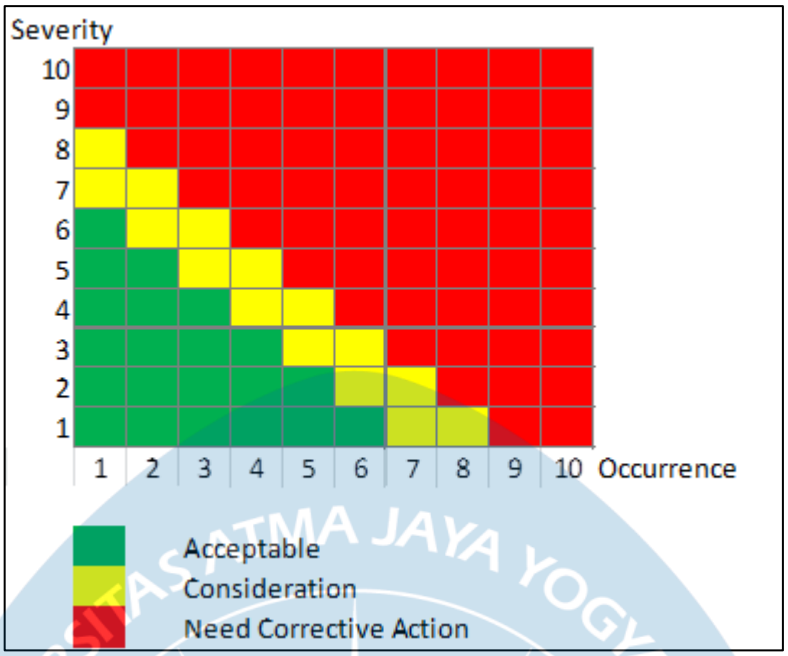
Likelihood = tingkat kemungkinan atau frekuensi terjadinya risiko

Impact = tingkat dampak yang ditimbulkan apabila risiko terjadi
Risk Score = nilai risiko yang digunakan untuk menentukan prioritas

2.2.7.3. *Failure mode and effect analysis* (FMEA)

Menurut Afi & Anggraini (2024), salah satu metode yang umum digunakan *adalah Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), yaitu metode sistematis untuk mengidentifikasi potensi kegagalan (*failure mode*), menganalisis dampaknya (*effect*), serta menentukan prioritas penanganan berdasarkan tingkat risiko yang dihasilkan. FMEA membantu perusahaan dalam menentukan prioritas perbaikan dengan mempertimbangkan tingkat keparahan dalam kegagalan, frekuensi terjadinya kegagalan, serta kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan tersebut sebelum terjadi. Dengan demikian, metode ini sangat efektif dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis risiko serta meningkatkan keandalan sistem produksi.

Dalam metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), penilaian risiko dilakukan menggunakan tiga parameter utama yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) yang masing-masing dinilai dalam rentang skala 1 – 10. *Severity* (S) menunjukan tingkat keparahan dampak kegagalan terhadap sistem atau produk, dimana nilai 1 berarti tidak berdampak signifikan dan nilai 10 menunjukan dampak yang sangat kritis seperti kegagalan total atau membahayakan keselamatan. *Occurrence* (O) menggambarkan frekuensi atau kemungkinan terjadinya kegagalan, dengan nilai 1 berarti sangat jarang terjadi dan nilai 10 berarti sangat sering terjadi atau hampir tidak dapat dihindari. Sementara itu, *Detection* (D) menunjukan kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan sebelum berdampak, dimana nilai 1 berarti kegagalan sangat mudah terdeteksi dan nilai 10 berarti kegagalan sangat sulit atau tidak dapat dideteksi. Kemudian terdapat RPN atau *Risk Priority Number* yang berfungsi sebagai indikator penilaian untuk menentukan solusi alternatif penyebab suatu permasalahan (Haryono & Sumiati, 2023). Ketiga parameter ini digunakan untuk menghitung tingkat prioritas risiko/*Risk Priority Number* (RPN), sehingga semakin tinggi nilai S, O, dan D, maka semakin tinggi pula prioritas perbaikan yang harus dilakukan.



Gambar 2.7 Skala Penilaian Risiko FMEA

Dalam konteks pengendalian kualitas, metode *Statistical Quality Control* (SQC) digunakan untuk memantau, mengendalikan, dan meningkatkan kualitas produk melalui pendekatan statistik dengan memanfaatkan berbagai alat seperti *check sheet*, histogram, dan *diagram pareto*, *scatter diagram*, dan *control chart* untuk mengidentifikasi pola kecacatan serta penyebab, dimana *check sheet* berperan sebagai alat pengumpulan data yang sistematis sehingga memudahkan analisis lanjutan terhadap permasalahan kualitas. Selanjutnya, hubungan FMEA dan SQC terletak pada peran keduanya dalam peningkatan kualitas, dimana SQC digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola kecacatan, sedangkan FMEA digunakan untuk mengevaluasi risiko dari penyebab kecacatan tersebut serta menentukan prioritas tindakan perbaikan, sehingga kombinasi kedua metode ini memungkinkan perusahaan tidak hanya mengetahui jenis dan penyebab masalah, tetapi juga menentukan langkah perbaikan yang paling efektif berdasarkan tingkat risiko. Terdapat rumus yang digunakan untuk menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebagai berikut.

$$RPN = S \times O \times D \tag{2.22}$$

dengan:

S = *Severity* (tingkat keparahan dampak kegagalan)
O = *Occurrence* (frekuensi terjadinya kegagalan)
D = *Detection* (kemampuan mendeteksi kegagalan)

2.3 Standar dan Kode Etik

Dalam perancangan tugas akhir, standar dan kode etik dijadikan pedoman utama untuk memastikan sistem yang dirancang beroperasi sesuai dengan peraturan yang berlaku, serta menjamin keselamatan, profesionalisme, dan integritas dalam setiap tahap pelaksanaan.

2.3.1 Standar

PT Indonesia Chemical Alumina (ICA) menerapkan berbagai standar dan peraturan untuk mendukung kegiatan operasional perusahaan. Standar yang diterapkan mencakup berbagai aspek seperti kualitas, pengendalian proses, keselamatan kerja, serta evaluasi kinerja operasional guna mendukung tercapainya mutu produk yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan. Standar-standar yang tercantum memiliki keterkaitan dengan pengendalian proses produksi dan peningkatan kualitas sebagai dasar dalam perancangan.

a. Aspek Manajemen Mutu (ISO 9001:2015)

Dalam aspek manajemen mutu, perusahaan mengacu pada ISO 9001:2015 untuk menjaga kualitas proses dan produk secara konsisten. Klausul 6 sampai klausul 10 pada ISO 9001:2015 berfokus pada proses perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, hingga peningkatan berkelanjutan dalam sistem manajemen mutu perusahaan. Berikut klausul 6 hingga klausul 10 yang berkaitan terhadap perancangan.

i. Klausul 6 : Perencanaan (*Planning*)
ii. Klausul 7 : Dukungan (*Support*)
iii. Klausul 8 : Operasional (*Operation*)
iv. Klausul 9 : Evaluasi Kinerja (*Performance Evaluation*)
v. Klausul 10 : Peningkatan (*Improvement*)

Klausul 6 berkaitan dengan perencanaan tindakan untuk mengatasi risiko serta penetapan sasaran mutu guna tercapainya kualitas proses dan produk yang diinginkan. Klausul 7 mendukung penerapan sistem melalui penyediaan sumber daya, kompetensi tenaga kerja, komunikasi, serta pengendalian dokumen yang diperlukan dalam kegiatan operasional. Klausul 8 berfokus pada pengendalian proses operasional dan penanganan ketidaksesuaian produk agar proses produksi berjalan sesuai standar yang telah ditetapkan. Selanjutnya, klausul 9 menekankan pentingnya evaluasi kinerja melalui monitoring, dan analisis hasil proses untuk mengetahui efektivitas sistem yang diterapkan. Sementara itu, klausul 10 berkaitan dengan upaya perbaikan dan peningkatan sistem mutu guna mencegah terulangnya permasalahan yang sama di masa mendatang.

b. PP No. 50 Tahun 2012 (SMK3)

PP No. 50 Tahun 2012 merupakan peraturan yang mengatur tentang penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) di perusahaan. Penerapan SMK3 bertujuan untuk meningkatkan efektivitas perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja, mencegah kecelakaan kerja, serta menciptakan lingkungan kerja yang aman, efisien, dan produktif. Kegiatan operasional perusahaan, terhadap penerapan SMK3 dilakukan melalui pengendalian risiko kerja, pengawasan operasional, serta monitoring dan evaluasi terhadap aktivitas kerja agar potensi bahaya dapat diminimalkan. Beberapa pasal pada PP No. 50 Tahun 2012 yang berkaitan terhadap perancangan antara lain:

i. Pasal 5 Ayat (1) “Setiap perusahaan wajib menerapkan SMK3 di perusahaannya”

ii. Pasal 9 Ayat (3) Dalam menyusun rencana K3 sebagaimana dimaksud pada ayat (2) pengusaha harus mempertimbangkan:

a. hasil penelaahan awal;

b. identifikasi potensi bahaya, penilaian, dan pengendalian risiko;

c. peraturan perundang-undangan dan persyaratan lainnya; dan

d. sumber daya yang dimiliki.

Berdasarkan pasal tersebut, perusahaan perlu melakukan pengendalian terhadap aktivitas operasional untuk meminimalkan risiko kerja dan menjaga proses kerja tetap berjalan secara aman dan terkendali. Pengendalian tersebut dapat dilakukan melalui *monitoring* proses kerja, penerapan prosedur operasional, penggunaan alat pelindung diri sesuai potensi bahaya, serta dokumentasi kegiatan operasional sebagai bentuk pengawasan dan evaluasi kerja. Dalam kegiatan operasional di area produksi, penggunaan APD seperti sepatu *safety*, *safety helmet*, dan *eyeglass safety* diperlukan untuk melindungi pekerja dari potensi bahaya seperti benturan, paparan debu, maupun risiko kecelakaan di area produksi. Penerapan pengendalian operasional dan penggunaan APD tersebut sejalan dengan perancangan yang berfokus pada aktivitas operasional guna mendukung keselamatan kerja serta menjaga proses produksi tetap berjalan secara terkendali dan konsisten.

2.3.2 Kode etik

Dalam perancangan alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan di PT Indonesia Chemical Alumina, kode etik sangat penting untuk memastikan bahwa seluruh proses secara profesional, bertanggung jawab, dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Kode etik dalam perancangan mencakup aspek keselamatan kerja, kejujuran dalam pengambilan dan pengolahan data, serta tanggung jawab dalam menjaga kerahasiaan informasi. Dasar hukum yang digunakan terkait kode etik sebagai berikut:

a. Keselamatan kerja

Peraturan Menteri Ketenagakerjaan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Lingkungan Kerja, pada Pasal 3 ayat (1) dinyatakan bahwa wajib dilakukan pengendalian faktor bahaya di lingkungan kerja yang mencakup aspek fisika, kimia, biologi, ergonomi, dan psikologi guna menjamin keselamatan dan kesehatan kerja.

Berdasarkan Peraturan Menteri Ketenagakerjaan tentang keselamatan kerja, perancangan harus memperhatikan kondisi mesin dan lingkungan kerja agar tidak menimbulkan potensi bahaya bagi operator. Hal ini mencakup penggunaan prosedur kerja yang aman, serta memastikan bahwa setiap aktivitas perancangan dan hasil perancangan dapat terlaksana dengan aman. Perancangan juga selalu mempertimbangkan pengendalian potensi bahaya sejak tahap awal agar risiko kecelakaan dapat diminimalkan sebaik mungkin. Selain itu, aspek keselamatan dan kesehatan kerja juga berpengaruh terhadap perancangan *autonomous maintenance* dan *quality maintenance*, karena kedua pengendalian kondisi mesin, serta pemantauan proses kerja yang dilakukan oleh operator.

b. Perlindungan data pribadi

Kode etik perlindungan data mengacu pada prinsip menjaga kerahasiaan, keamanan, dan penggunaan data secara bertanggung jawab, sebagaimana tercermin dalam Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 20 Tahun 2016, Pasal 2 ayat (1) yang menekankan bahwa perlindungan data pribadi harus dilakukan berdasarkan asas penghormatan terhadap data pribadi, serta Pasal 28 menyatakan bahwa penyelenggara sistem elektronik wajib menjaga kerahasiaan, keutuhan, dan ketersediaan data pribadi dari akses yang tidak sah, sehingga penerapan prinsip ini bertujuan untuk memastikan bahwa pengelolaan data dilakukan secara etis, aman dan tidak disalahgunakan dalam kegiatan perancangan.

Dalam pengelolaan data, perancang wajib menjaga kerahasiaan data yang diperoleh selama perancangan, jadi hanya digunakan untuk kepentingan Tugas Akhir, tanpa melakukan perubahan, penyebaran, atau penggunaan di luar tujuan akademik, sehingga keamanan dan kerahasiaan informasi perusahaan tetap terjaga. Hukum yang digunakan bertujuan menjaga integritas penelitian serta kepercayaan dari pihak perusahaan. Penerapan prinsip ini membantu mencegah terjadinya penyalahgunaan data yang dapat merugikan pihak terkait.