BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka berisi tentang ringkasan mengenai isu-isu utama serta berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan. Ringkasan ini diperoleh dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, artikel penelitian yang membahas dan menawarkan solusi terhadap masalah yang serupa. Penyusunan tinjauan pustaka bertujuan untuk memperoleh landasan dan perbandingan yang dapat mendukung pengembangan *Capstone* yang sedang dilakukan. Melalui kajian literatur (*literature review)* ini, perancang dapat memahami teori-teori, konsep, serta temuan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik *Capstone*. Dalam proses mencari tinjauan pustaka perancang menggunakan beberapa kata kunci yaitu efisiensi energi listrik, pemeliharaan aset, audit energi, *total productive maintenance, reliability centered maintenance,*dan penjadwalan agar dapat menentukan sumber yang sesuai dengan topik perancang dengan memanfaatkan basis data ilmiah seperti Google Scholar, *ScienceDirect*, Scopus. Ringkasan tinjauan pustaka ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
1.	Raihan dkk. (2025)	Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Pencahayaan Ruang Kelas Berbasis *Internet of Things* dan Aplikasi Web.	Sistem pencahayaan ruang kelas di Gedung F Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.	Sistem pencahayaan masih manual sehingga menyebabkan pemborosan energi listrik dan peningkatan biaya operasional.	Pengembangan sistem kontrol lampu berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor cahaya (BH1750), dan sensor deteksi manusia (C4001), serta aplikasi web untuk monitoring dan kontrol.	Terjadi penurunan konsumsi energi listrik sebesar 41,42% dengan pengurangan rata-rata 2,725 kWh/hari serta sistem terbukti efektif dan signifikan secara statistik.
2.	Despa dkk. (2021)	Edukasi Aplikasi Teknologi *Internet of Things* untuk Audit dan Manajemen Energi dalam Rangka Konservasi dan Efisiensi Energi.	Sistem audit dan manajemen energi pada SMK N 2 Bandar Lampung.	Tingginya konsumsi energi listrik akibat perilaku boros serta kurangnya pemahaman masyarakat terhadap audit dan manajemen energi.	Penerapan teknologi IoT berupa *prototype* monitoring energi listrik menggunakan kWh meter digital yang dapat dipantau secara *real-time* melalui web, serta metode edukasi, praktik langsung, dan evaluasi.	Terjadi peningkatan pengetahuan dan kemampuan peserta dalam melakukan audit dan manajemen energi serta meningkatnya kesadaran untuk berperilaku hemat energi.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
3.	Putra. dkk. (2025)	Implementasi Sistem Kontrol Otomatis pada *Prototype* Alat Penerangan Jalan Berbasis *Internet of Things* sebagai Upaya Efisiensi Energi.	Sistem penerangan jalan (APJ) di Jalan Bukit Dharma Raya Jimbaran.	Sistem penerangan jalan masih manual dan menyala terus menerus tanpa mempertimbangkan kondisi lingkungan sehingga menyebabkan pemborosan energi listrik.	Perancangan sistem kontrol otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor ultrasonik untuk deteksi pengguna jalan, AC *Light Dimmer* untuk mengatur intensitas cahaya, *relay* untuk kontrol ON/OFF, serta monitoring melalui Telegram.	Sistem mampu meningkatkan efisiensi energi sebesar 43,75% dan menghemat biaya listrik sebesar Rp 132,56 dalam 2 jam penggunaan.
4.	Rahmawati & Setyawan (2025)	Sistem Saklar Otomatis Berbasis Sensor PIR dengan Fitur Penghitungan Jumlah Orang untuk Optimalisasi Penggunaan Energi.	Sistem kontrol lampu dan kipas pada ruangan tertutup.	Penggunaan perangkat listrik masih manual sehingga sering terjadi pemborosan energi saat ruangan kosong.	Perancangan saklar otomatis berbasis sensor PIR dengan dua sensor untuk mendeteksi keluar-masuk orang, menggunakan Arduino dan antarmuka *Processing*.	Sistem memiliki akurasi 100% dan mampu menghemat energi hingga 66% dibandingkan tanpa sistem.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
5.	Rani dkk. (2022)	*Energi Conservation Using PIR Sensors*.	Sistem kontrol otomatis peralatan listrik pada ruangan (kelas, ruang belajar, seminar).	Terjadi pemborosan energi listrik akibat perangkat listrik yang tetap menyala meskipun tidak ada manusia di dalam ruangan.	Perancangan sistem otomatis menggunakan sensor PIR yang terhubung dengan Arduino UNO untuk mendeteksi keberadaan manusia dan mengontrol ON/OFF perangkat listrik melalui *delay*.	Sistem berhasil mengontrol peralatan listrik secara otomatis berdasarkan keberadaan manusia dan mampu mengurangi pemborosan energi listrik serta menjadi solusi yang efisien dari segi waktu dan biaya.
6.	Mahmudah dkk. (2023)	Rancang Bangun Sistem Kontrol Lampu Otomatis Menggunakan Sensor PIR pada Toilet UNIMUDA Sorong.	Sistem kontrol lampu pada toilet UNIMUDA Sorong.	Penggunaan lampu masih manual sehingga sering terjadi pemborosan energi karena lampu tetap menyala saat tidak digunakan.	Perancangan sistem kontrol lampu otomatis menggunakan sensor PIR, Arduino, dan *relay* dengan metode *Research & Development* (R&D) serta pengujian usability.	Sistem dinyatakan layak digunakan dengan tingkat kelayakan hingga 81,66% serta mampu menghemat energi listrik dari 0,09 kWh menjadi 0,07 kWh per hari.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
7.	Sinaga dkk. (2024)	Perancangan Sistem Lampu Berbasis Sensor Ultrasonik dan Arduino sebagai Solusi Efisien untuk Penghematan Energi.	Sistem lampu otomatis pada lingkungan rumah/gedung.	Peningkatan kebutuhan listrik dan pemborosan energi akibat lampu yang tetap menyala meskipun tidak diperlukan.	Perancangan sistem lampu otomatis menggunakan sensor ultrasonik untuk deteksi objek, Arduino sebagai kontrol, serta *relay* untuk ON/OFF lampu dengan logika pemrograman.	Sistem mampu mengontrol lampu secara otomatis berdasarkan keberadaan objek, sehingga mengurangi pemborosan energi dan meningkatkan efisiensi penggunaan listrik.
8.	Aprianti & Nurpulaela (2024)	Mengoptimalkan Efisiensi Energi dengan Sensor Cahaya LDR pada Lampu Pintar.	Sistem lampu pintar berbasis sensor cahaya LDR.	Konsumsi energi listrik yang tinggi akibat penggunaan lampu yang tidak terkontrol serta kurangnya sistem otomatisasi berdasarkan kondisi pencahayaan lingkungan.	Perancangan sistem lampu otomatis menggunakan sensor LDR dan Arduino Uno dengan metode pengujian intensitas cahaya, pembuatan prototipe, serta analisis efisiensi energi berdasarkan kondisi siang, mendung, dan malam.	Sistem mampu mengontrol lampu secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya dan meningkatkan efisiensi energi listrik dengan tetap menjaga kualitas pencahayaan.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
9.	Rahmansyah dkk. (2023)	*Implementation of Energi-Saving Lamp With Automatic System Using LDR Sensor Combination at Village Guard Posts and Mosques in* Probolinggo.	Sistem lampu otomatis pada pos ronda dan mushola di Probolinggo.	Pemborosan energi listrik akibat lampu tetap menyala pada siang hari karena lupa dimatikan serta kurangnya sistem otomatis.	Perancangan dan implementasi lampu otomatis berbasis sensor LDR dengan kombinasi komponen elektronik (resistor, kapasitor, diode, IC) yang bekerja berdasarkan intensitas cahaya lingkungan.	Sistem lampu otomatis berhasil bekerja dengan baik, lampu menyala saat kondisi gelap dan mati saat terang, sehingga mampu mengurangi pemborosan energi listrik dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi.
.10.	Rizki dkk. (2024)	*Implementation of Automatic Lightning System for Saving Electrical Energy on Public Roads.*	Sistem penerangan jalan umum (PJU).	Terjadi pemborosan energi listrik akibat lampu jalan yang masih dioperasikan secara manual dan sering tetap menyala pada siang hari.	Perancangan sistem lampu otomatis berbasis sensor LDR dengan komponen utama seperti LDR, resistor, Diac DB3, dan Triac BT136 untuk mengontrol ON/OFF lampu berdasarkan intensitas cahaya.	Sistem mampu bekerja secara otomatis, lampu menyala saat kondisi gelap dan mati saat terang, sehingga meningkatkan efisiensi energi serta mudah dioperasikan dan memiliki biaya perawatan yang rendah.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
11	Liu dkk. (2023)	*Enhancing HVAC Energy Management through Multi-Zone Occupant-Centric Approach: A Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Solution.*	Simulasi model di gedung perkantoran multi-zona.	Sistem HVAC belum efisien dan kurang optimal menyebabkan kenyamanan termal tidak akurat dan biaya listrik operasional yang lebih tinggi.	Metode kuantitatif menggunakan MADRL dengan perilaku penghuni stokastik yang disimulasikan melalui *EnergyPlus*.	Penerapan MADRL menurunkan biaya listrik hingga 51,09% dibanding *rule-based* dan *single-agent* DRL, sambil tetap menjaga kenyamanan termal.
12	Naseem dkk. (2023)	*Design of an EnergyPlus Model-Based Smart Controller for Maintaining Thermal Comfortable Environment in Non-Domestic Building.*	Simulasi di Gedung non-domestik	Pengontrol HVAC konvensional tidak mampu menyeimbangkan penghematan energi dengan kenyamanan termal yang dinamis pada gedung non-domestik.	Metode kuantitatif berbasis simulasi *Model-Based Control* (MBC) dengan integrasi *software EnergyPlus* untuk optimasi *set-point* suhu secara *real-time*.	Sistem kontrol yang mampu menjaga kenyamanan termal secara presisi dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada gedung.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
13	Hakim dkk. (2023)	Audit Energi dan Rekomendasi Penghematan Energi Listrik di Gedung Rumah Sakit.	Gedung Rumah sakit.	Pemborosan energi pada pencahayaan dan AC.	Memberikan rekomendasi untuk penghematan energi dan perbaikan kualitas daya listrik (*Detail Energy Audit*).	Perbaikan IKE menjadi 23,213 kWh/m²/tahun dengan rekomendasi penyesuaian lampu, kapasitas AC, serta pemasangan Active Filter.
14	Fahmi dkk. (2021)	Analisis Audit dan Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik Pada Sistem Pencahayaan dan *Air Conditioning* (AC) dengan Pendekatan AHP.	Gedung Kantor BPJS Daerah Kota Malang.	Peningkatan konsumsi energi listrik dan kebutuhan untuk efisiensi penggunaan listrik, karena kantor mengalami pemborosan energi.	Metode kuantitatif menentukan prioritas peluang hemat energi.	Penerapan Audit energi (hitung IKE) dan AHP, IKE turun dari 11,39 ke 2,59 kWh/m²/bulan.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
15	Oktavia dkk. (2022)	Audit Energi untuk Pencapaian Penghematan penggunaan Energi Listrik di PT.Graha Sarana Duta II Denpasar.	Gedung Perkantoran	Tingkat intensitas konsumsi energi (IKE) sebesar 245,22 kWhm²/tahun yang termasuk kategori boros.	Menggunakan metode Konservasi Energi melalui tahapan Audit Energi Awal dan Audit Energi Rinci. Dengan penggantian lampu ke LED dan perbaikan perilaku penggunaan AC.	Perbaikan IKE menjadi 18,1 kWh/m²/bulan (turun 11,4%) dengan mengganti lampu ke LED dan mewajibkan mematikan AC saat ruangan kosong.
16	Irwangsa dkk. (2023)	Rancangan dan Implementasi Sistem Manajemen Energi dan Audit Energi Berbasis ISO:50001 di Kampus Universitas Islam Kalimantan.	Gedung kampus	Inefisiensi energi akibat belum adanya sistem manajemen terstandar dan kurangnya pengawasan beban listrik di kampus.	Perancangan SOP menggunakan metode BPM dan BPI untuk analisis *gap* standar ISO 9001:2015.	Penurunan Intensitas energi turun 2% melalui pengaturan suhu AC (24-25°C) dan edukasi perilaku hemat energi bagi staf serta mahasiswa.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
17	Putratama dkk. (2025)	Perancangan Prototype Sistem listrik dan Pengaturan AC Otomatis terhadap Jumlah Orang pada Kelas.	Ruang kelas	Penggunaan AC lupa mematikan saat ruangan kosong, mengakibatkan pemborosan energi listrik dan ketidaknyamanan termal.	Metode Perancangan (Design/Development) dan mengimplementasikan *Prototype* Sistem Otomatis yang mengendalikan lampu dan suhu AC.	Penerapan sistem mengurangi pemborosan energi akibat kelalaian pengguna dan meningkatkan efisiensi serta kenyamanan di dalam ruang kelas.
18	Pagare dkk. (2025)	*Reducing energy consumption in air conditioning systems, a fuzzy logic-based optimization approach.*	Sistem AC	Operasi yang tidak efektif, penggunaan energi yang berlebihan.	Metode kuantitatif merancang dan mengimplementasikan Pengendali Logika Fuzzy (*Fuzzy Logic Controller* - FLC) untuk mengoptimalkan operasi AC.	FLC menunjukkan potensi untuk mengurangi konsumsi energi sekaligus mempertahankan kenyamanan termal.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
19	Palallo dkk. (2025)	Sistem Pintar Kontrol *Air Conditioner* (AC) Berbasis *Fuzzy Logic* dan Pengaruhnya pada Konsumsi Energi Listrik.	Sistem AC	Penggunaan AC secara manual sering menyebabkan konsumsi listrik berlebih karena pengaturan suhu tidak adaptif terhadap kondisi lingkungan.	Penerapan sistem kontrol otomatis menggunakan *Fuzzy Logic*, sensor DHT11, ESP32, dan monitoring energi melalui sensor PZEM-004T.	Sistem mampu menyesuaikan suhu AC secara adaptif dengan akurasi tinggi dan menghasilkan konsumsi energi yang terpantau secara real-time melalui plat*form ThingSpeak*.
20	Dharma & Siregar (2026)	Efektivitas Penempatan Unit Pengkondisi Udara Tipe *Ceiling Cassette* Terhadap Kenyamanan dan Efisiensi Energi Bangunan.	AC Tipe *Ceiling Cassette*	Penempatan unit AC yang tidak tepat menyebabkan distribusi aliran udara tidak merata, ketidaknyamanan termal, dan konsumsi energi yang tinggi.	*Systematic Literature Review* (SLR) terhadap artikel ilmiah tahun 2020-2025 mengenai tata letak HVAC.	Penempatan unit yang strategis dengan mempertimbangkan geometri ruangan dapat menciptakan distribusi suhu yang homogen dan menurunkan beban kerja mesin AC.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
21	Putra (2025)	Penerapan Konsep *Lean and Green Manufacturing* Pada Proses Produksi *Part* Karbon Kap Mesin Mobil.	PT. Karyatama Komposit Teknologi.	• Pemborosan yang tidak memberikan nilai tambah • Tingginya konsumsi energi listrik menjadi penyumbang emisi terbesar • Proses produksti tidak efisien.	• Metode *Green Analysis & Green State Map* • *Fishbone analysis* • *Value Stream Mapping* (VSM) • *Process Activity Mapping* (PAM).	• Penurunan emisi dan konsumsi energi yang tidak perlu. • Pengurangan *downtime* dan waktu produksi sehingga menghindari lonjakan arus listrik yang sangat besar.
22	Ramadhani & Sutabri (2024)	Analisis Kualitas Daya Listrik Menggunakan Metode SPC di Gedung Laboratorium Program Studi Teknik Mesin.	Gedung Laboratorium Program Studi Teknik Mesin.	• Ketidakstabilan kualitas daya listrik • Risiko kerusakan alat • Belum ada sistem monitoring.	• Metode SPC dengan *Control Chart.*	• SPC efektif mendeteksi perubahan kualitas daya listrik • Tindakan perbaikan dilakukan sebelum gangguan terjadi.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
23	Banyai & Banyai (2022)	*Real-Time Maintenance Policy Optimization in Manufacturing Systems: An Energy Efficiency and Emission-Based Approach.*	Perusahaan Manufaktur	• Konsumsi energi tinggi akibat jadwal perawatan tidak efisien. • Kesulitan menentukan jadwal perawatan tanpa mengganggu jadwal produksi.	• Optimalisasi *real time* dengan kerangka kerja (*framework*) • Pendekatan CBM • Integrasi parameter efisiensi energi	• Penurunan penggunaan energi per siklus produksi. • Pengurangan *downtime.* • Pengambilan keputusan lebih akurat tanpa merugikan target *output*.
24	Wahjudi dkk. (2024)	Perancangan Sistem Penjadwalan Perawatan yang Mendukung *Total Productive Maintenance* di PT X.	PT X (perusahaan produksi timba plastik).	Nilai OEE sangat rendah dan pemeliharaan dilakukan tanpa ada jadwal yang pasti.	• Metode TPM dengan OEE. • Analisis *six big losses.* • Perbaikan 8 pilar TPM.	Peningkatan nilai OEE hingga mencapai 61,29% setelah penerapan TPM. Penurunan *losses* setelah penerapan TPM.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
25	Mardhatillah dkk. (2025)	Perancangan Jadwal Perawatan mesin *Loader* di PT Kraton Menggunakan Metode *Condition Based Monitoring* (CBM).	PT Kraton	• Kerusakan mendadak pada mesin sehingga proses produksi terganggu dan penggunaan energi tidak efisien. • Tidak adanya jadwal pemeliharaan rutin yang terstruktur untuk mencegah kerusakan komponen utama.	Metode *Condition Based Monitoring* (CBM) dengan teknik *trend analysis.*	Meminimalkan waktu henti (*downtime*) sehingga energi tidak banyak terbuang, meningkatkan keandalan mesin, memperpanjang umur pakai komponen.
26	Rafliadi dkk. (2025)	Menganalisis Produktivitas Kerja Menggunakan Metode *Total Productive Maintenance* (TPM) dan *Overall Equipment Effectivness* (OEE) Pada Mesin Moulding.	Mesin Moulding	• Tingkat efektivitas *maintenance* masih di bawah standar kondisi ideal OEE *Japan Institute of Plant Maintenance.* • Kerugian waktu, biaya, dan kualitas produk. • Energi tidak efisien.	• Metode TPM dengan OEE. • Analisis *six big losses.* • Analisis *fishbone diagram.* • Perbaikan 8 pilar TPM.	• Peningkatan parameter OEE hingga mencapai standar, yaitu hingga 85,75% (meningkat 8,89%). • Energi lebih efisien.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka (Lanjutan)

No.	Peneliti dan Tahun	Judul	Objek *Capstone*	Permasalahan	Solusi & Metode	Hasil
27	Yuda & Al-Faritsy. (2025)	Penentuan Interval Perawatan Mesin *Open Top Roller* Menggunakan *Reliability Centered Maintenance*	PT XYZ di bidang perkebunan dan produksi teh.	• Tingginya *downtime* mesin yang disebabkan oleh kerusakan komponen mesin.	Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) dengan pendekatan MTTF dan FMEA	• Meminimalkan waktu henti (*downtime*). • Frekuensi kerusakan berkurang. • Meningkatkan efektivitas perawatan mesin.
28	Setiawan & Fragastia (2025)	Perawatan Mesin Bubut Menggunakan Metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) Pada MKSO PT Sinergi Gula Nusantara Peltek Cluster Sumatera I	PT Sinergi Gula Nusantara Peltek Cluster Sumatera I	• Pemeliharaan masih bersifat reaktif. • Biaya operasional meningkat. • Waktu perbaikan tinggi.	• Metode RCM dengan pendekatan FMEA dan LTA (*Logic Tree Analysis*).	• Peningkatan keandalan mesin. • Penurunan waktu *downtime.*

2.1.1 Sistem Kontrol Otomatis Berbasis Sensor PIR (*Passive Infrared*)

Penggunaan sensor PIR (*Passive Infrared*) dalam sistem kontrol lampu otomatis menjadi salah satu solusi yang banyak digunakan untuk mengatasi pemborosan energi listrik akibat kelalaian pengguna dalam mematikan lampu. Sensor PIR bekerja dengan mendeteksi keberadaan atau pergerakan manusia melalui pancaran radiasi inframerah, sehingga lampu dapat menyala secara otomatis saat ada aktivitas dan mati ketika tidak ada aktivitas.

Penelitian yang dilakukan oleh Mahmudah dkk. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan sistem kontrol lampu berbasis sensor PIR pada toilet mampu mengurangi pemborosan energi listrik yang sebelumnya terjadi akibat sistem manual. Sistem yang dikembangkan menggunakan Arduino dan relay ini terbukti mampu menghemat konsumsi energi listrik dari 0,09 kWh menjadi 0,07 kWh per hari.

Selain itu, penelitian oleh Rani dkk. (2022) juga mengembangkan sistem otomatis berbasis sensor PIR yang mampu mengontrol perangkat listrik secara otomatis berdasarkan keberadaan manusia. Sistem ini dirancang untuk meminimalisir penggunaan energi listrik yang tidak diperlukan dengan cara mematikan perangkat saat tidak ada aktivitas manusia.

Pengembangan lebih lanjut dilakukan oleh Rahmawati dkk. (2025) dengan menambahkan fitur penghitungan jumlah orang dalam ruangan menggunakan dua sensor PIR. Sistem ini tidak hanya mengontrol lampu secara otomatis, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi hingga 66% dengan pengaturan penggunaan listrik yang lebih optimal.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sensor PIR merupakan solusi efektif dalam meningkatkan efisiensi energi listrik, khususnya pada sistem pencahayaan berbasis otomatisasi.

2.1.2 Sistem Kontrol Otomatis Berbasis Sensor Cahaya (LDR)

Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) merupakan salah satu komponen yang banyak digunakan dalam sistem otomatisasi pencahayaan berbasis intensitas cahaya lingkungan. Sensor ini bekerja dengan mengubah nilai resistansi berdasarkan tingkat cahaya yang diterima, sehingga dapat digunakan untuk mengontrol lampu secara otomatis.

Penelitian oleh Rahmansyah dkk. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan sensor LDR pada sistem lampu otomatis memungkinkan lampu menyala saat kondisi gelap dan mati saat kondisi terang, sehingga dapat mengurangi pemborosan energi akibat lampu yang tetap menyala di siang hari.

Hal serupa juga ditemukan dalam penelitian Rizki dkk. (2024) di mana sistem pencahayaan otomatis berbasis LDR mampu bekerja secara efektif dalam mengontrol lampu jalan berdasarkan intensitas cahaya lingkungan. Sistem ini terbukti efisien dalam menghemat energi serta memiliki keandalan yang tinggi dalam operasionalnya.

Selain itu, penelitian oleh Aprianti dan Nurpulaela (2024) mengembangkan konsep lampu berbasis sensor LDR yang mampu mengoptimalkan penggunaan energi listrik dengan mengatur intensitas pencahayaan secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengurangi konsumsi energi tanpa mengurangi kualitas pencahayaan.

Dengan demikian, sensor LDR menjadi solusi yang efektif dalam sistem pencahayaan otomatis berbasis kondisi lingkungan, khususnya untuk penggunaan luar ruangan maupun area dengan pencahayaan alami.

2.1.3 Sistem Kontrol Otomatis Berbasis Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik digunakan sebagai solusi alternatif dalam sistem otomatisasi pencahayaan dengan mendeteksi keberadaan objek atau manusia berdasarkan gelombang suara. Sensor ini mampu mengukur jarak objek sehingga dapat digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan lampu secara otomatis.

Penelitian oleh Sinaga dkk. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan sensor ultrasonik yang dikombinasikan dengan Arduino mampu meningkatkan efisiensi energi dengan cara mengaktifkan lampu hanya saat terdapat objek atau aktivitas di sekitarnya. Sistem ini efektif dalam mengurangi penggunaan energi listrik yang tidak diperlukan.

Selain itu, penelitian oleh Putra dkk. (2025) juga mengimplementasikan sensor ultrasonik dalam sistem penerangan jalan berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini mampu menyesuaikan intensitas cahaya berdasarkan keberadaan pengguna jalan dan waktu, sehingga meningkatkan efisiensi energi hingga 43,75%.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, sensor ultrasonik dapat menjadi solusi yang efektif dalam sistem pencahayaan otomatis, terutama pada aplikasi yang membutuhkan deteksi jarak atau keberadaan objek secara lebih presisi.

2.1.4 Sistem Kontrol Otomatis Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang dalam pengelolaan energi listrik secara lebih cerdas dan terintegrasi. Sistem berbasis IoT memungkinkan pengendalian dan pemantauan perangkat listrik secara *real-time* serta otomatis berdasarkan kondisi tertentu.

Penelitian oleh Latief dkk. (2025) mengembangkan sistem kontrol pencahayaan berbasis IoT yang mampu mengatur lampu berdasarkan okupansi ruangan dan jadwal penggunaan. Sistem ini juga dilengkapi dengan aplikasi web untuk monitoring dan kontrol jarak jauh, sehingga meningkatkan efisiensi energi secara signifikan.

Selain itu, penelitian oleh Despa dkk. (2021) menekankan pentingnya audit dan manajemen energi berbasis IoT dalam mengidentifikasi pemborosan energi serta meningkatnya efisiensi penggunaan listrik melalui pemantauan konsumsi energi secara terstruktur.

Dengan adanya sistem berbasis IoT, pengelolaan energi listrik menjadi lebih optimal karena dapat dikontrol secara otomatis dan terintegrasi, serta memberikan data yang dapat digunakan untuk analisis efisiensi energi.

2.1.5 Metode Simulasi *EnergyPlus*

Penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk. (2023) pada sistem HVAC di gedung multi-zona, ditemukan permasalahan berupa penggunaan energi yang tidak optimal akibat sistem kontrol yang masih bersifat statis dan tidak mampu menyesuaikan perilaku penghuni yang dinamis. Melalui penerapan metode *Multi-Agent Deep Reinforcement Learning* (MADRL), sistem mampu mengatur suhu secara adaptif pada setiap zona ruangan sehingga dapat menghemat biaya listrik hingga lebih dari 51,09% tanpa mengurangi kenyamanan penghuni.

Sejalan dengan itu, penelitian oleh Naseem dkk. (2023) pada gedung non-domestik juga mengidentifikasi permasalahan serupa terkait ketidakefisienan kontrol HVAC konvensional. Dengan menggunakan metode *Model-Based Control* (MBC) berbasis simulasi EnergyPlus, sistem mampu memprediksi kebutuhan energi dan menyesuaikan suhu secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan adanya penghematan energi sebesar 14,68% dengan tingkat kenyamanan penghuni tetap terjaga.

2.1.6 Metode Audit Energi Rinci (*Detail Energy Audit*)

Penelitian terdahulu oleh Hakim dkk. (2023) melakukan audit energi di gedung rumah sakit untuk menilai penggunaan listrik melalui analisis IKE, pencahayaan, AC, dan harmonisa, yang menemukan bahwa gedung tergolong sangat efisien namun memiliki banyak ketidaksesuaian standar pada pencahayaan, kapasitas AC, serta THDi yang melebihi batas IEEE 519-2014, sehingga direkomendasikan perbaikan melalui optimalisasi sistem penerangan, penyesuaian kapasitas AC, dan pemasangan *active* filter guna meningkatkan efisiensi dan kualitas energi secara keseluruhan. Sementara itu, penelitian Fahmi dkk. (2021) melakukan audit energi pada gedung kantor BPJS kota Malang dengan menganalisis konsumsi listrik AC dan pencahayaan, menghitung nilai

IKE yang tergolong efisien, serta mengidentifikasi peluang penghematan seperti penggantian jenis lampu dan AC, pemanfaatan cahaya alami, perubahan kebiasaan pegawai, dan perawatan rutin, lalu menggunakan metode AHP untuk menentukan prioritas tindakan hemat energi, di mana hasilnya menunjukkan bahwa perilaku hemat energi dari pegawai menjadi solusi paling efektif.

Penelitian oleh Oktavia dkk. (2022) melakukan audit energi di gedung PT. Graha Sarana Duta II Denpasar. Permasalahan yang ditemukan adalah nilai IKE sebesar 245,22 kWh/m²/tahun yang masuk kategori boros menurut standar ESDM. Melalui perhitungan rinci pada sistem tata udara dan pencahayaan, ditemukan bahwa konsumsi energi terbesar berasal dari sistem pendingin udara. Solusi yang diusulkan meliputi penyesuaian suhu AC sesuai standar kenyamanan dan penggantian lampu ke jenis LED yang lebih hemat daya.

Sejalan dengan itu, Irwangsa dkk. (2023) mengimplementasikan sistem manajemen energi berbasis ISO 50001 melalui audit energi di Kampus UNISKA. Penelitian ini menyoroti bahwa audit energi tidak hanya soal perangkat fisik, tetapi juga sistem manajemen. Audit dilakukan dengan mengukur konsumsi energi total gedung dan mengidentifikasi penggunaan energi yang signifikan (*Significant Energy Use*). Hasil penelitian merekomendasikan penggantian unit AC konvensional ke teknologi inverter dan peningkatan sistem monitoring. Integrasi audit energi dengan standar ISO 50001 terbukti dapat menciptakan budaya efisiensi.

2.1.7 Metode Otomasi Berbasis IoT dan *Fuzzy Logic*

Penelitian penelitian Putratama dkk. (2025) di ruang kelas, ditemukan permasalahan pemborosan listrik akibat lampu dan AC yang sering tidak dimatikan. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkan sistem otomatis berbasis Arduino dengan sensor PIR dan DHT11 yang mampu mendeteksi keberadaan serta suhu ruangan. Sistem ini juga dilengkapi IR *transmitter* untuk mengontrol AC secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengatur penggunaan energi secara efisien dan dinyatakan valid berdasarkan standar ISO/IEC TR9126-2:2002.

Sementara itu, Pagare dkk. (2025) meneliti penggunaan energi AC yang berlebihan dengan menerapkan metode *Fuzzy Logic Controller* (FLC). Metode ini digunakan untuk mengontrol suhu secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan dan kebutuhan pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan FLC mampu mengoptimalkan kinerja AC serta menurunkan konsumsi energi listrik secara signifikan dibandingkan sistem konvensional.

Sejalan dengan itu, Palallo dkk. (2025) mengkaji permasalahan pada sistem pendingin udara yang masih bergantung pada kontrol manual sehingga kurang efisien. Penelitian ini mengusulkan sistem pintar berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan memanfaatkan ESP32 dan sensor DHT11 untuk mengatur suhu ruangan secara otomatis sesuai standar kenyamanan termal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan suhu lingkungan secara lebih adaptif, sehingga konsumsi energi listrik menjadi lebih stabil dan efisien.

2.1.8 Optimasi Tata Letak

Pada penelitian Dharma & Siregar (2026) ditekankan bahwa efisiensi energi tidak hanya bergantung pada teknologi mesin, tetapi juga pada posisi pemasangan unit di dalam ruangan. Masalah utama yang sering muncul pada gedung layanan publik adalah adanya area yang terlalu dingin atau terlalu panas akibat distribusi udara yang buruk. Melalui metode SLR, peneliti menemukan bahwa penempatan unit *ceiling cassette* yang memperhitungkan hambatan fisik dan aliran udara dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan AC untuk mencapai suhu target. Hal ini secara langsung meningkatkan kenyamanan termal penghuni sekaligus mencegah pemborosan listrik akibat kerja kompresor yang berlebihan.

2.1.9 Metode *Total Productive Maintenance* (TPM)

Penelitian terkait metode *Total Productive Maintenance* (TPM) telah banyak dilakukan guna menyelesaikan permasalahan mesin yang tidak efektif di industri manufaktur. Permasalahan ini dapat menyebabkan beberapa kerugian (*losses*) dari segi waktu, biaya, kualitas produk, hingga energi. Secara umum, penelitian dengan metode TPM menggunakan metrik *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) sebagai parameter keberhasilan. Identifikasi akar penyebab inefisiensi dapat ditinjau menggunakan *Six Big Losses* (Rafliadi dkk., 2025).

Pada beberapa studi kasus, kerugian-kerugian ini terjadi karena beberapa faktor yang dalam sistem pemeliharaan. Contohnya penelitian pada mesin *moulding* yang menunjukkan bahwa rendahnya nilai OEE (rata-rata 63,27%) sering kali disebabkan oleh *losses* (Rafliadi dkk., 2025). Di sisi lain, pada studi kasus di PT X, penyebab utama yang memicu permasalahan adalah tingginya *idling and minor stoppages* hingga mencapai 27,42% (Wahjudi dkk., 2024). Dapat diketahui bahwa meskipun mesin yang diteliti adalah jenis yang sama (mesin injeksi), kerugian setiap perusahaan berbeda. Hal ini menjadi salah satu alasan diperlukan analisis lebih lanjut menggunakan *fishbone diagram* di setiap departemen.

Pada literatur penelitian terdapat usulan perbaikan untuk meningkatkan nilai OEE, yaitu implementasi pilar TPM yang mencakup perancangan jadwal perawatan, pemberdayaan operator (*Autonomous Maintenance* / AM), dan pelatihan sumber daya manusia. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa usulan perbaikan memberi dampak yang positif pada mesin. Sistem penjadwalan di PT X dapat meningkatkan nilai OEE menjadi 61,91% sehingga pendekatan yang digunakan dapat mengurangi kerugian secara signifikan. Hal ini menjadi faktor kunci dalam efisiensi energi karena mesin yang terawat dapat meminimalkan waktu produksi, berbanding lursu dengan konsumsi energi.

2.1.10 Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Sistem pemeliharaan tidak hanya berfokus pada perbaikan saja, tetapi juga dengan penjadwalan untuk mempertahankan keandalan aset. *Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan metode yang berfokus menjaga fungsi suatu sistem dengan menentukan kebutuhan pemeliharaan dan identifikasi kegagalan. RCM mengutamakan tindakan pencegahan yang harus dilakukan agar suatu sistem dapat berjalan efektif.

Pada penelitian Wahjudi dkk. (2024), RCM merupakan strategi yang optimal dalam pengambilan keputusan kapan dan bagaimana komponen mesin perlu diperiksa. Strategi ini berhubungan dengan efisiensi sumber daya perusahaan dan penghematan biaya. Hasil penelitian membuktikan pemeliharaan berdasarkan keandalan ini mengurangi biaya operasional hingga 12-18% jika dibandingkan dengan pemeliharaan reaktif. Selain itu, strategi ini juga berkontribusi terhadap penurunan konsumsi energi. RCM memastikan mesin bekerja pada per*forma* yang baik sehingga meminimalkan kerusakan mendadak serta pemborosan energi.

2.1.11 Metode *Statistical Process Controll* (SPC)

Aplikasi metode *Statistical Process Control* (SPC) untuk menganalisis energi listrik melibatkan beberapa parameter seperti arus, tegangan, faktor daya, dan harmonisa. Menurut Ramadhani dan Sutabri (2024), parameter-parameter ini dapat menyebabkan kerusakan alat, mengganggu efisiensi dan keberlanjutan energi, serta kinerja sistem kelistrikan. Keberhasilan SPC membutuhkan bantuan infrastruktur teknologi seperti sensor monitoring *real-time.* Metode ini juga menggunakan peta kendali (*control charts*) sebagai salah satu alat utama yang memonitor tren data.

2.1.12 Metode *Lean and Green Manufacturing*

Metode *Lean and Green Manufacturing* merupakan metode untuk efisiensi proses produksi berdasarkan prinsip keberlanjutan lingkungan. Metode ini digunakan untuk mengatasi permasalahan berupa pemborosan waktu operasional yang otomatis berpengaruh terhadap konsumsi energi. Tidak hanya berfokus pada reduksi biaya,

metode ini juga digunakan untuk optimalisasi sumber daya melaui tahapan sebagai berikut (Putra, 2025).

a. *Value Streat Mapping* (VSM)

   Value Stream Mapping (VSM) adalah tahap awal untuk menggambarkan aktivitas yang memberikan nilai maupun pemborosan.

b. *Process Activity Mapping* (PAM)

   Process Activity Mapping (PAM) berfungsi untuk mendeskripsikan setiap aktivitas kerja ke dalam lima kategori yang mencakup operasi, transportasi, inspeksi, menunggu, dan penyimpanan.

c. *Green Analysis & Green State Map* (GSM)

   Penerapan *Green Analysis* dan *Green State Map* (GSM) mengintegrasikan parameter konsumsi energi listrik ke dalam ke dalam peta aliran proses untuk memisahkan antara energi yang terpakai dengan yang terbuang.

2.1.13 Metode *Condition Based Maintenance* (CBM)

Implementasi metode *Condition Based Maintenance* (CBM) dalam beberapa penelitian digunakan untuk mengatasi permasalahan kegagalan sistem pemeliharaan yang belum bisa mendeteksi kerusakan sejak dini. Penelitian oleh Mardhatillah dkk. (2025) menunjukkan tingginya risiko kerusakan mendadak pada mesin berat (*wheel loader*). Selain itu, parameter suhu mesin dan tekanan oli tidak stabil karena sering diabaikan dan akhirnya menyebabkan kerusakan fatal.

CBM dilakukan dengan pengumpulan data operasional seperti suhu mesin, tekanan oli, dan getaran pada komponen *fan* dan *bearing* untuk kepentingan penentuan periode pemeliharaan. Sejalan dengan penelitian tersebut, Banyai dan Banyai (2022) melakukan optimasi *real time* untuk efisiensi energi. Dilakukan perancangan kebijakan pemeliharaan sesuai data kondisi mesin sehingga konsumsi energi dan emisi berkurang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa per*forma* mesin meningkat secara signifikan. Setelah implementasi, perusahaan mampu mengetahui tren (sebelum terjadi kegagalan) pada perangkat monitor. Selain itu, metode ini dapat mengurangi biaya perbaikan dan memastikan mesin memiliki per*forma* yang baik untuk beroperasi. CBM juga terbukti efektif untuk mengurangi pemborosan energi dan emisi sehingga masa pakai mesin menjadi lebih lama.

2.2 Dasar Teori

Pada bab ini menjelaskan landasan teoritis yang menjadi pondasi dalam permasalahan, yaitu inefisiensi operasional. Teori yang diuraikan pada bagian ini digunakan untuk merancang solusi yang telah dipilih. Teori mengenai sistem otomasi, teknologi sensor,

perancangan sistem otomasi, dan integrasi sistem merujuk pada mata kuliah Otomasi Industri (STIN32402). Teori mengenai efisiensi operasional, pemborosan (*waste*), *value activity*, serta penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) merujuk pada mata kuliah Analisis dan Perancangan Sistem Kerja (STIN28402). Teori mengenai identifikasi pemborosan (*waste*), perbaikan proses secara berkelanjutan, dan *Green Productivity* merujuk pada mata kuliah Six Sigma (STIN64702). Teori mengenai Total *Productive Maintenance* (TPM), *Reliability Centered Maintenance* (RCM), serta penjadwalan pemeliharaan merujuk pada mata kuliah Sistem *Maintenance* (STIN65602). Pemodelan dan simulasi sistem merujuk pada mata kuliah Simulasi Industri (STIN52703), sedangkan teori mengenai efisiensi energi, manajemen energi, dan keberlanjutan merujuk pada mata kuliah Sistem Lingkungan Industri (STIN46602). Selain itu, teori mengenai manajemen fasilitas, audit energi, HVAC, manajemen sumber daya manusia, audit operasional, serta konsep-konsep pendukung lainnya merujuk pada berbagai buku, jurnal ilmiah, standar dan dokumen yang relevan.

2.2.1 Efisiensi Operasional

Efisiensi operasional merujuk pada seberapa efektif sebuah organisasi atau perusahaan dalam mengubah *input* menjadi *output* yang bermanfaat. *Input* di sini mencakup aspek seperti tenaga kerja, waktu sistem, atau biaya. Sementara itu, *output* dapat berupa produk berkualitas tinggi, layanan unggulan, atau peningkatan pendapatan. Tujuan utamanya adalah untuk memperoleh hasil optimal dengan usaha yang minimal, tanpa mengorbankan kualitas (Ali, 2025).

Ada beberapa faktor penting yang dapat memengaruhi sejauh mana bisnis berjalan dengan efisien. Faktor-faktor tersebut dapat saling berhubungan satu sama lain. Berikut adalah beberapa faktor tersebut:

a. Teknologi Pendukung

Penerapan teknologi pendukung yang sesuai, seperti kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), sistem otomatisasi, atau integrasi sistem in*form*asi, mampu mengoptimalkan efisiensi dengan mengurangi langkah-langkah yang tidak diperlukan sehingga mempercepat pengambilan keputusan. Namun demikian, pemilihan teknologi yang kurang tepat atau sistem yang tidak terintegrasi secara optimal justru dapat menimbulkan kompleksitas tambahan yang berdampak negatif terhadap efisiensi operasional.

b. Sumber Daya Manusia

Anggota tim yang memiliki kemampuan berpikir kritis dan kapasitas adaptasi yang tinggi merupakan aset utama dalam upaya peningkatan efisiensi operasional. Untuk

mengoptimalkan potensi tersebut, program pelatihan berkelanjutan dan pengembangan budaya kerja yang kolaboratif berperan penting dalam mencapai tujuan efisiensi perusahaan.

c. Struktur Organisasi

Struktur organisasi memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat efisiensi proses bisnis perusahaan. Hierarki organisasi yang terlalu panjang cenderung menghambat kecepatan pengambilan keputusan. Di sisi lain, struktur organisasi yang lebih datar dengan pendelegasian tanggung jawab yang jelas mampu mendorong inisiatif dan eksekusi cepat dari setiap individu.

d. Prosedur dan Proses Kerja

Selain struktur organisasi yang terdefinisi dengan baik, *Standard Operating Procedure* (SOP) dan sistem proses kerja juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi operasional. SOP yang tidak terstruktur dengan jelas justru dapat menimbulkan hambatan dalam pelaksanaan tugas. Proses kerja yang efisien seharusnya berfokus pada penciptaan nilai tambah bagi organisasi, bukan semata-mata sebagai pemenuhan persyaratan administratif *forma*l.

2.2.2 Produktivitas Hijau (*Green Productivity* / GP)

Produktivitas hijau (*Green Productivity* / GP) merupakan strategi yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi dampak buruk lingkungan dengan integrasi teknik, teknologi, dan sistem manajemen. Munculnya GP awalnya karena opini bahwa limbah dan emisi adalah penyebab inefisiensi proses sehingga produktivitas menurun secara keseluruhan. GP tidak hanya mengukur *output* terhadap *input*, tetapi juga fokus pada peningkatan keberlanjutan yang menjadi nilai tambah bagi manusia dan lingkungan. Seluruh energi panas, listrik, serta bahan baku yang terbuang akan menjadi polusi. Perusahaan dapat mengurangi biaya yang hilang (*lost* cost) dan biaya operasional dengan menghilangkan pemborosan. Oleh karena itu, dengan penerapan GP melalui peningkatan kualitas lingkungan, perusahaan dapat meningkatkan profit dalam jangka panjang (Tuttle dan Heap, 2008).

Implementasi GP melibatkan perbaikan berkelanjutan yang sejalan dengan konsep *Plan-Do-Check-Act* (PDAC), hanya saja lebih berfokus pada dampak lingkungan. Keberhasilan strategi ini sangat bergantung pada kompetensi karyawan dalam mengidentifikasi perbaikan. Identifikasi dapat dilakukan dengan teknik *Root Cause Analysis* (RCA) pada limbah dan emisi. Selanjutnya, perbaikan diukur menggunakan *Key Performance Indicator* (KPI) yang meliputi metrik ekonomi dan metrik ekologis (Gandhi dkk., 2006).

2.2.3 Pemborosan (*Waste)* dan Nilai Aktivitas (*Value Activity*)

Pemborosan atau *waste* merupakan kegiatan yang menyerap sumber daya seperti waktu dan biaya tambahan namun tidak menambah nilai sehingga termasuk dalam *non value – added activity* . Menurut Gasperz (2006), faktor pemborosan dibagi menjadi 9 (E-Downtime) sebagai berikut.

a. *Environmental Health, and Safety (EHS),* yaitu jenis pemborosan akibat kurang memperhatikan atau lalai dengan prinsip EHS (Gasperz V., 2006).
b. *Defect,* yaitu jenis pemborosan akibat dihasilkannya produk cacat sehingga biasanya terjadi di industri manufaktur dan berhubungan langsung dengan biaya (Aziza dan Afandi, 2018).
c. *Over Production,* yaitu jenis pemborosan akibat produksi berlebih diluar jam optimal sehingga produk melebihi perencanaan awal (Pattiapon et al., 2020).
d. *Waiting,* yaitu jenis pemborosan akibat terhambatnya suatu proses sehingga proses selanjutnya tidak bisa dilanjutkan sebelum proses sebelumnya selesai (Puspa S. Et al., 2017).
e. *Non-Utilizing Employee,* yaitu jenis pemborosan SDM akibat kurangnya kompetensi staf sehingga tidak mampu mengerjakan tugasnya secara optimal (Gaspersz V., 2006).
f. *Transportation,* yaitu jenis pemborosan biaya akibat aktivitas transportasi berlebihan sehingga terbuangnya waktu, biaya, dan tenaga (Jakfar dan Setyawan, 2014).
g. *Inventory,* yaitu jenis pemborosan akibat bahan baku produksi di *inventory* diperlakukan berlebihan. Untuk menghilangkan pemborosan ini diperlukan konsep *just in time* (Janson B dan Nurcaya, 2019).
h. *Motion,* yaitu jenis pemborosan akibat pergerakan operator yang tidak perlu sehingga memperlambat proses atau *leadtime* (Have et al., 2018).
i. *Excess Processing,* yaitu jenis pemborosan akibat tahapan berlebihan yang diperlukan dalam suatu proses seperti pengerjaan ulang (Gaspersz V., 2006).

Menurut Hines (2000), jenis aktivitas dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

a. *Value – Added Activity (VA),* yaitu kegiatan atau aktivitas di suatu sistem yang menambah nilai pada barang atau jasa.
b. *Non Value – Added Activity (NVA),* yaitu kegiatan atau aktivitas di suatu sistem yang tidak menambah nilai apapun pada suatu barang atau jasa selama proses.
c. *Necessary But Non Value – Added Activity (NNVA),* yaitu kegiatan atau aktivitas di suatu sistem yang tidak menambah nilai barang atau jasa namun proses tersebut masih perlu untuk dilakukan.

2.2.4 Manajemen Fasilitas

Manajemen fasilitas merupakan suatu aktivitas pengelolaan sumber daya fisik organisasi, khususnya bangunan dan lingkungan kerja, untuk mendukung tercapainya tujuan organisasi secara efektif dan efisien. Dalam perspektif *real estate* dan fasilitas sebagai sarana untuk menjalankan aktivitas operasional serta mendukung identitas dan kinerja organisasi.

Menurut De Vries (2007), fasilitas atau *real estate* merupakan salah satu sumber daya organisasi yang berperan dalam meningkatkan kinerja organisasi. Pengelolaan fasilitas tidak hanya berfokus pada aspek biaya, tetapi juga harus mempertimbangkan kontribusinya terhadap produktivitas, kepuasan pengguna, serta keunggulan kompetitif organisasi.

Lebih lanjut manajemen fasilitas, bertujuan untuk memastikan kesesuaian antara kebutuhan organisasi dengan kondisi fasilitas yang tersedia, baik dari segi lokasi, waktu, kualitas, maupun biaya. Pengelolaan fasilitas yang baik diharapkan mampu memberikan nilai tambah (*added value*) bagi organisasi melalui peningkatan kualitas lingkungan kerja serta efisiensi operasional.

Dalam perkembangannya, manajemen fasilitas juga dipengaruhi oleh kemajuan teknologi, khususnya dalam konsep *smart system* dan pemanfaatan teknologi in*form*asi. Penerapan teknologi dalam pengelolaan fasilitas bertujuan untuk meningkatkan kualitas layanan, efisiensi penggunaan sumber daya, serta mendukung keberlanjutan lingkungan. Hal ini sejalan dengan konsep *smart system* yang memanfaatkan teknologi untuk meningkatkan kualitas hidup dan efisiensi operasional dalam suatu lingkungan Benevolo dkk. (2016).

Dengan demikian, manajemen fasilitas tidak hanya berperan dalam pengelolaan fisik bangunan, tetapi juga sebagai strategi untuk meningkatkan kinerja organisasi melalui integrasi antara fasilitas, manusia, dan teknologi. Pengelolaan fasilitas yang efektif dapat memberikan dampak positif terhadap produktivitas, efisiensi energi, serta kenyamanan pengguna dalam lingkungan kerja.

2.2.5 Manajemen Energi

Manajemen energi adalah sistematis untuk memantau, mengendalikan, serta mengoptimalkan energi di sebuah organisasi atau fasilitas guna mengurangi penggunaan energi secara efisien dan efektif dalam suatu organisasi atau bangunan. Konsep ini menekankan bahwa energi harus direncanakan, dikendalikan, dan dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung aktivitas operasional serta mengurangi pemborosan energi (Doty & Turner, 2004). Selain potensi penghematan, manajemen

energi juga berkaitan dengan upaya meningkatkan efisiensi penggunaan energi sehingga dapat menurunkan biaya operasional serta meminimalkan dampak lingkungan akibat konsumsi energi yang berlebihan. Dalam penerapannya, manajemen energi dilakukan melalui proses yang terstruktur yang meliputi tahap perencanaan, audit energi, implementasi, serta evaluasi secara berkelanjutan. Proses ini bertujuan untuk memahami pola konsumsi energi dan menentukan strategi yang tepat dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi (Doty & Turner, 2004).

Selain itu, manajemen energi juga mencakup pengelolaan sistem penggunaan energi seperti sistem pencahayaan dan sistem pendingin udara (HVAC) yang merupakan salah satu konsumen energi terbesar dalam bangunan. Pengelolaan yang tepat pada sistem HVAC, seperti pengaturan suhu dan waktu operasional, dapat memberikan penghematan energi yang signifikan. Manajemen energi tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga melibatkan aspek operasional dan perilaku pengguna dalam menggunakan energi. Perilaku pengguna yang tidak sesuai dengan standar operasional dapat menyebabkan pemborosan energi, sehingga diperlukan pengendalian melalui kebijakan, prosedur operasional, serta peningkatan kesadaran pengguna (Doty & Turner, 2004).

2.2.6 Energi

Energi berasal dari bahasa Yunani yaitu *energeia* yang berarti aktivitas atau kerja, yang dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha atau menghasilkan perubahan. Hal ini dapat dinyatakan bahwa energi merupakan suatu besaran fisik yang memungkinkan suatu sistem untuk melakukan kerja dalam berbagai bentuk proses (Hasibuan dkk., 2023). Energi memiliki berbagai bentuk yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam sistem industri, seperti energi listrik, energi panas (termal), energi mekanik, energi kimia, dan energi kinetik. Setiap bentuk energi tersebut dapat saling dikonversi sesuai kebutuhan penggunaan, misalnya energi listrik yang diubah menjadi energi panas atau energi gerak dalam suatu sistem (Cengel & Boles, 2015).

Energi memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung aktivitas operasional, seperti pada sistem pencahayaan, sistem produksi, serta sistem pendingin udara (HVAC). Penggunaan energi yang tidak terkontrol pada sistem tersebut dapat menyebabkan tingginya konsumsi energi serta meningkatkan biaya operasional (Doty & Turner, 2004). Efisiensi energi merupakan upaya untuk menggunakan energi secara optimal dengan meminimalkan pemborosan tanpa mengurangi fungsi utama dari sistem yang digunakan. Penerapan efisiensi energi dapat dilakukan melalui pengaturan

operasional, penggunaan teknologi yang tepat, serta pengendalian perilaku pengguna dalam menggunakan energi.

2.2.7 Energi Listrik

Energi listrik merupakan bentuk energi yang fleksibel karena dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain seperti panas, cahaya, maupun gerak (Cengel & Boles, 2015). Energi listrik juga diukur berdasarkan kemampuannya dalam melakukan kerja, di mana satuan yang umum digunakan adalah *kilowatt-hour* (kWh). Satuan ini menunjukkan jumlah energi yang digunakan ketika daya sebesar satu *kilowatt* digunakan selama satu jam, sehingga menjadi dasar dalam pengukuran konsumsi energi listrik pada bangunan maupun industri (Capehart dkk., 2016).

Konsep dasar energi listrik berkaitan erat dengan beberapa besaran utama, yaitu arus listrik, tegangan, dan daya listrik. Arus listrik merupakan aliran muatan listrik yang mengalir dalam suatu penghantar, sedangkan tegangan adalah beda potensial yang mendorong aliran arus tersebut, dan daya listrik merupakan laju penggunaan energi listrik dalam suatu sistem. Hubungan antara ketiga besaran tersebut menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik dalam suatu sistem sangat bergantung pada kondisi operasional dan beban yang digunakan (Alexander & Sadiku, 2017).

Energi listrik merupakan hasil perkalian antara daya listrik dengan waktu operasi suatu beban listrik. Besarnya konsumsi energi listrik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E = P \times t \tag{2.1}$$

Keterangan:

E = Konsumsi energi listrik (Wh atau kWh)

P = Daya listrik (Watt)

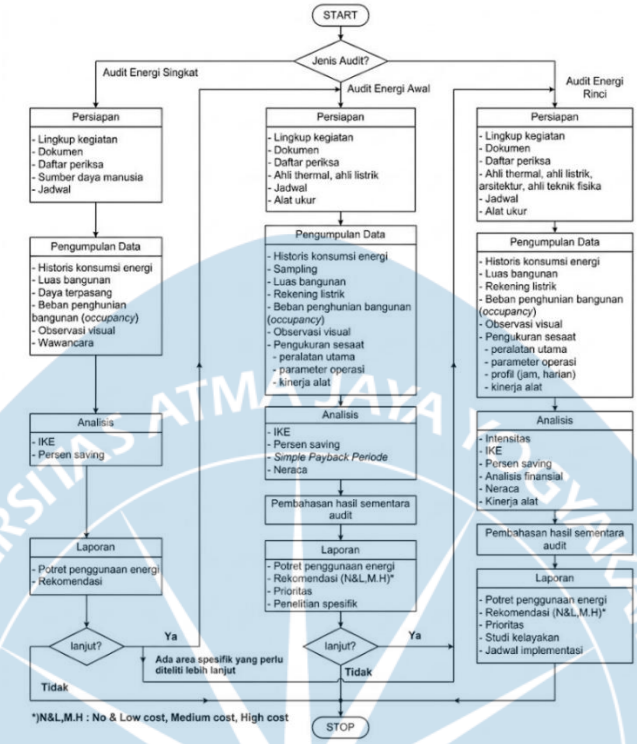
t = Waktu operasi (jam)

Persamaan tersebut digunakan dalam *Capstone Project* ini untuk menghitung konsumsi energi listrik pada kondisi eksisting maupun kondisi usulan sistem yang dirancang.

2.2.8 Audit Energi Listrik

Audit energi listrik untuk mengetahui tingkat konsumsi energi serta menentukan peluang penghematan yang dapat dilakukan tanpa mengurangi kinerja sistem. Selain itu, audit energi juga meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi biaya penggunaan

energi dalam jangka panjang (Doty & Turner, 2004). Tahapan audit energi dilakukan secara bertahap menurut SNI 03-6196-2011 seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Flowchart* proses audit energi (SNI 03-6196-2011)

Tujuan dari audit energi listrik dapat dijelaskan sebagai berikut menurut Capehart dkk. (2016):

a. Mengidentifikasi jenis serta penggunaan energi secara jelas
b. Memahami bagaimana energi digunakan serta potensi terjadinya pemborosan
c. Mengidentifikasi dan menganalisis alternatif perbaikan seperti peningkatan teknik operasional atau penggunaan peralatan yang lebih efisien
d. Melakukan analisis ekonomi terhadap alternatif yang diusulkan untuk menentukan solusi yang paling efektif dan layak diterapkan

Dalam penerapannya, audit energi sangat penting dalam mengidentifikasi pemborosan energi listrik yang terjadi akibat penggunaan yang tidak efisien, baik dari sisi teknis maupun operasional. Pemborosan energi sering kali disebabkan oleh pengaturan yang tidak sesuai, penggunaan peralatan yang tidak optimal, serta perilaku pengguna yang kurang memperhatikan efisiensi energi (Capehart dkk., 2016). Hasil audit energi dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang bertujuan untuk mengatur penggunaan energi secara lebih efisien serta meningkatkan kesadaran pengguna dalam menghemat energi (Doty & Turner, 2004).

Besarnya potensi penghematan energi diperoleh dengan membandingkan konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan usulan perbaikan.

$$\% HE = \frac{E_{\text{eksisting}} - E_{\text{usulan}}}{E_{\text{eksisting}}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

%HE = Persentase penghematan energi

$E_{\text{eksisting}}$ = Konsumsi energi sebelum perbaikan

E_{usulan} = Konsumsi energi sesudah perbaikan

Persamaan ini digunakan untuk mengetahui tingkat efisiensi energi yang dihasilkan oleh sistem yang dirancang.

Besarnya penghematan biaya listrik diperoleh dari hasil perkalian energi listrik yang berhasil dihemat dengan tarif listrik yang berlaku.

$$PB = E_{\text{hemat}} \times \text{Tarif} \quad (2.3)$$

Keterangan:

PB = Penghematan biaya listrik

E_{hemat} = Energi yang berhasil dihemat (kWh)

Tarif = Tarif listrik (Rp/kWh)

Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung manfaat ekonomi dari penerapan sistem yang dirancang.

Payback period merupakan metode analisis ekonomi yang digunakan untuk mengetahui lamanya waktu yang diperlukan agar investasi awal dapat kembali melalui penghematan biaya operasional.

$$PP = \frac{\text{Investasi}}{\text{Penghematan biaya}} \quad (2.3)$$

Pada *Capstone Project* ini metode *payback period* digunakan untuk mengevaluasi kelayakan ekonomi penerapan sistem otomasi lampu berbasis sensor PIR.

2.2.9 HVAC *System*

Sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) merupakan integrasi dari proses pemanasan, ventilasi, dan pendinginan yang bekerja secara terpadu untuk

mengontrol suhu, kelembaban, serta kualitas udara dalam suatu bangunan. sistem HVAC merupakan salah satu penyumbang konsumsi energi terbesar dalam bangunan. Oleh karena itu, pengelolaan sistem HVAC menjadi sangat penting dalam upaya meningkatkan efisiensi energi pada bangunan (Doty & Turner, 2004).

Efisiensi energi pada sistem HVAC dapat dicapai melalui pengaturan operasional yang tepat, seperti pengaturan suhu sesuai standar, waktu penggunaan yang optimal, serta pemeliharaan rutin terhadap peralatan. Pendekatan ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi tidak selalu memerlukan perubahan teknologi, tetapi juga dapat dilakukan melalui pengelolaan operasional yang baik (Capehart dkk., 2016).

Pengoperasian sistem HVAC memiliki peran penting dalam menentukan kenyamanan termal pengguna. Sistem ini berfungsi sebagai pengendali kondisi lingkungan yang mempengaruhi persepsi kenyamanan manusia terhadap lingkungan sekitarnya (Ashrae, 2020). Pengaturan suhu yang ekstrem terlalu rendah yang menyebabkan kedinginan atau terlalu tinggi yang menimbulkan rasa panas akan langsung berdampak pada ketidaknyamanan pengguna dan pemborosan energi.

Oleh karena itu, pengoperasian HVAC harus mempertimbangkan kondisi optimal yang mampu menyeimbangkan antara kenyamanan pengguna dan efisiensi energi dengan mengikuti batas kenyamanan termal yang direkomendasikan (Ashrae, 2020). Melalui pengaturan operasional dan peningkatan kesadaran pengguna, efisiensi energi yang optimal dapat tercapai tanpa mengorbankan standar kenyamanan (Doty & Turner, 2004).

2.2.10 *Total Productive Maintenance* (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) adalah metode manajemen pemeliharaan yang berfokus pada peningkatan efektivitas mesin atau aset secara menyeluruh. TPM pertama kali diterapkan di Jepang untuk merancang sebuah sistem yang dapat mencegah pemborosan (*waste*) atau kerugian (*losses*) di lantai produksi. Dalam TPM, suatu sistem mencapai kondisi ideal atau biasa disebut *zero breakdowns, zero defects,* dan *zero accidents* untuk memastikan proses produksi berjalan dengan lancar. Pada TPM, pemeliharaan diintegrasikan dalam kegiatan produksi sehari-hari sehingga tidak hanya teknisi operasional, tetapi seluruh karyawan perusahaan ikut bertanggungjawab terhadap kondisi aset (Nakajima, 1988).

Pengembangan dan implementasi TPM dijalankan melalui delapan pilar utama yang terdiri dari seluruh aspek operasional sebagai berikut (Suzuki, 1994):

Tabel 2.2 Delapan pilar TPM

Pilar	Deskripsi

Autonomous Maintenance	Berfokus pada pemberdayaan manusia (operator) dalam melakukan pemeliharaan secara mandiri.
Focused Improvement	Perbaikan spesifik untuk menghilangkan pemborosan secara berkelanjutan (*six big losses*).
Planned Maintenance	Memastikan mesin selalu tersedia dengan adanya jadwal pemeliharaan preventif dan juga prediktif.
Quality Maintenance	Pilar ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi tenaga kerja sehingga menutup *gap* keahlian karyawan.
Education and Training	Merancang standar operasional untuk mencegah produk *reject* atau cacat dengan memastikan kondisi mesin selalu presisi.
Early Equipment Management	Pilar ini memastikan aset memiliki desain yang baru agar keandalan tinggi.
Office TPM	Pilar ini berguna untuk menghilangkan pemborosan di kantor atau administrasi sebagai efisiensi fungsi pendukung.
Safety, Health, and Environment	Menciptakan lingkungan kerja yang aman (*zero accident*) sekaligus sebagai pelengkap strategi TPM.

Delapan pilar TPM ini bekerja untuk memastikan dan mempertahankan efektivitas aset sebagai standar kualitas suatu perusahaan.

2.2.11 *Reliability Centered Maintenance* (RCM)

Teori *Reliability Centered Maintenance* (RCM) pertama kali dikemukakan oleh Nowlan dan Heap (1987) yang menyatakan bahwa terdapat hubungan antara umur komponen dengan potensi kegagalan. Nowlan dan Heap melakukan suatu penelitian dan ditemukan mayoritas kegagalan aset tidak mengikuti keausan sehingga strategi pemeliharaan harus lebih spesifik. RCM merupakan metode yang mengutamakan fungsi sistem, tidak hanya sekedar merawat konsisi aset agar tidak rusak. Oleh karena itu, terjadi pergeseran konsep, dari usaha mencegah kerusakan menjadi usaha mempertahankan fungsi aset agar sistem berjalan dengan aman.

a. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Sebagai tahap awal analisis RCM, digunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang berfungsi untuk mengidentifikasi bentuk kegagalan, penyebab kegagalan, serta dampak kegagalan terhadap mesin atau aset. FMEA berfungsi sebagai *filter* dalam menentukan komponen yang kritis. FMEA Penentuan ini didasarkan pada tiga aspek

utama, yaitu keparahan dampak (*Severity*), kemungkinan gangguan (*Occurance*), dan tingkat deteksi gangguan (*Detection*). Ketiga aspek ini dikalikan dan menghasilkan Nilai *Risk Priority Number* (RPN). Hasil pemetaan FMEA selanjutnya akan dievaluasi menggunakan metode RCM untuk menentukan tindakan pemeliharaan yang sesuai (Stamatis, 2003).

Sebelum merancang sebuah jadwal, komponen kritis ditentukan berdasarkan nilai RPN tertinggi setelah mengalikan *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D).

$$\text{RPN} = S \times O \times D \tag{2.4}$$

Keterangan:
RPN = *Risk Priority Number*
S = *Severity*
O = *Occurance*
D = *Detection*

b. *Time to Failure* (TTF)

Time to Failure merupakan durasi waktu mesin beroperasi secara normal setelah dinyalakan atau selesai diperbaiki hingga mesin kembali mengalami kerusakan. Dalam perhitungan, akumulasi angka TTF menggambarkan total *Uptime*. Dalam metode RCM, data lapangan TTF diubah menjadi *Mean Time to Failure* (MTTF). MTTF digunakan ketika komponen bersifat sekali pakai seperti filter, oli, dan sekring.

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Total Waktu Operasi}}{\text{Unit Kerusakan}} \tag{2.5}$$

Keterangan:
MTTF = *Mean Time to Failure*

c. *Time to Repair* (TTR)

Time to Repair merupakan durasi waktu perbaikan untuk mengukur kinerja tim teknisi dalam memperbaiki kerusakan. Dalam metode RCM, data lapangan TTR diubah menjadi *Mean Time to Repair* (MTTR). MTTR digunakan untuk menghitung *availability* mesin.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Total TTR}}{\text{Frekuensi Perbaikan}} \tag{2.6}$$

Keterangan:
MTTF = *Mean Time to Repair*

e. *Mean Time Between Failure* (MTBF)

Mean Time Between Failure (MTBF) merupakan rata rata waktu sebuah mesin dapat beroperasi secara normal. MTBF hanya dapat digunakan ketika mesin atau komponen adalah sistem yang dapat diperbaiki, bukan dibuang.

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Total TTF}}{\text{Frekuensi Kerusakan}} \tag{2.7}$$

Keterangan:

MTBF = *Mean Time Between Failure*

f. *Downtime* (Waktu Henti)

Downtime merupakan durasi mesin ketika tidak dapat beroperasi lagi dan mati secara total. Ketika mesin rusak secara mendadak, total *downtime* tidak hanya mencakup TTR tapi juga waktu tunggu teknisi, administrasi, dan suku cadang.

2.2.12 Manajemen Sumber Daya Manusia

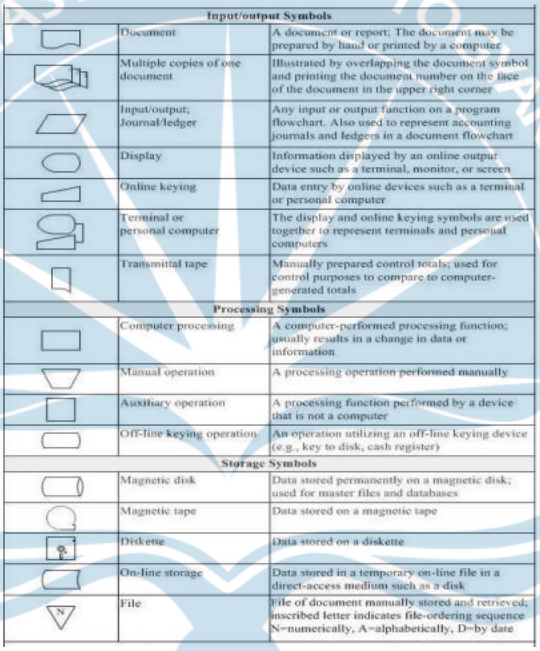
Manajemen sumber daya sangat penting dalam mendorong kinerja bisnis serta membantu suatu organisasi menyesuaikan diri secara efektif terhadap perubahan lingkungan yang terus berkembang. Menurut Crews dkk. (2024) manajemen sumber manajemen sumber daya didefinisikan sebagai suatu proses untuk merencanakan, mengalokasi, serta memanfaatkan aset-aset organisasi baik yang bersifat berwujud maupun tidak berwujud secara efisien dan efektif guna mencapai tujuan jangka panjang perusahaan. Dalam konteks operasional organisasi, termasuk dalam pengelolaan energi, peran SDM sangat menentukan bagaimana sumber daya digunakan dalam aktivitas sehari-hari. Karyawan sebagai pengguna langsung fasilitas memiliki pengaruh terhadap efisiensi penggunaan energi (Wandi dkk., 2025).

Tujuan dari manajemen sumber daya manusia adalah untuk memastikan bahwa organisasi memiliki tenaga kerja yang kompeten serta mampu bekerja secara optimal dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan (Wandi dkk., 2025). Peran SDM dalam operasional perusahaan atau bangunan sangat penting, terutama dalam menentukan bagaimana sumber daya digunakan dalam kegiatan sehari-hari. Karyawan sebagai pengguna langsung fasilitas memiliki pengaruh besar terhadap efisiensi penggunaan sumber daya, termasuk energi listrik pada sistem HVAC (Doty & Turner, 2004).

Perilaku karyawan dalam menggunakan sumber daya menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi tingkat konsumsi energi. Penggunaan energi yang tidak sesuai, seperti tidak mematikan AC atau lampu saat tidak digunakan, dapat menyebabkan pemborosan energi. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian perilaku melalui kebijakan dan pengawasan yang tepat (Capehart dkk., 2016).

2.2.13 *Standar Operasional Prosedur* (SOP)

Standar Operasional Prosedur (SOP) merupakan suatu pedoman tertulis yang berisi langkah-langkah kerja yang harus diikuti untuk memastikan suatu aktivitas dapat dilakukan secara konsisten, efektif, dan efisien. Hal ini dapat dinyatakan bahwa SOP berfungsi sebagai acuan dalam pelaksanaan pekerjaan sehingga setiap proses berjalan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dalam organisasi. Hal ini menunjukkan bahwa SOP tidak hanya mengatur bagaimana pekerjaan dilakukan, tetapi juga mengatur siapa yang bertanggung jawab, kapan pekerjaan dilakukan, serta dokumen pendukung yang diperlukan dalam setiap proses kerja (Rifka, 2017). Agar SOP yang dirancang memiliki alur yang sistematis dan mudah dipahami, maka diperlukan pemodelan proses menggunakan bagan alur (*flowchart*). Berikut adalah simbol-simbol dalam *flowchart*.



Input/output Symbols		
	Document	A document or report; The document may be prepared by hand or printed by a computer
	Multiple copies of one document	Illustrated by overlapping the document symbol and printing the document number on the face of the document in the upper right corner
	Input/output; Journal/ledger	Any input or output function on a program flowchart. Also used to represent accounting journals and ledgers in a document flowchart
	Display	Information displayed by an online output device such as a terminal, monitor, or screen
	Online keying	Data entry by online devices such as a terminal or personal computer
	Terminal or personal computer	The display and online keying symbols are used together to represent terminals and personal computers
	Transmittal tape	Manually prepared control totals; used for control purposes to compare to computer-generated totals
Processing Symbols		
	Computer processing	A computer-performed processing function; usually results in a change in data or information
	Manual operation	A processing operation performed manually
	Auxiliary operation	A processing function performed by a device that is not a computer
	Off-line keying operation	An operation utilizing an off-line keying device (e.g., key to disk, cash register)
Storage Symbols		
	Magnetic disk	Data stored permanently on a magnetic disk; used for master files and databases
	Magnetic tape	Data stored on a magnetic tape
	Diskette	Data stored on a diskette
	On-line storage	Data stored in a temporary on-line file in a direct-access medium such as a disk
N	File	File of document manually stored and retrieved; inscribed letter indicates file-ordering sequence N=numerically, A=alphabetically, D=by date

Gambar 2.2 Simbol simbol bagan arus (Romney & Steinbart, 2006)

Flowchart digunakan untuk menggambarkan urutan aktivitas, keputusan, serta hubungan antar proses dalam suatu sistem kerja secara visual. Dengan adanya *flowchart*, pengguna SOP dapat lebih mudah memahami alur kerja tanpa harus membaca deskripsi yang panjang.

2.2.14 Sistem Otomasi

Sistem otomasi merupakan suatu sistem yang dirancang untuk menjalankan proses atau operasi secara otomatis dengan memanfaatkan perangkat teknologi, sehingga dapat mengurangi atau menggantikan campur tangan manusia. Sistem otomasi didefinisikan sebagai teknologi yang digunakan untuk mengoperasikan dan mengendalikan proses dengan sedikit atau tanpa intervensi manusia (Groover, 2015).

Dalam sistem otomasi, proses pengendalian dilakukan melalui integrasi berbagai komponen yang bekerja secara terkoordinasi. Sistem ini umumnya melibatkan sumber energi untuk menjalankan proses, serta mekanisme pengendalian yang mengatur jalannya sistem sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

Selain itu, sistem otomasi juga melibatkan integrasi antara sensor, pengendali, dan aktuator. Sensor digunakan untuk mendeteksi kondisi lingkungan atau perubahan tertentu, pengendali berfungsi untuk memproses in*forma*si dari sensor, sedangkan aktuator digunakan untuk melakukan aksi berdasarkan hasil pengolahan tersebut (Bolton, 2015).

Dalam penerapannya, sistem otomasi dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, yaitu otomasi tetap (*fixed automation*), otomasi terprogram (*programmable automation*), dan otomasi fleksibel (*flexible automation*). Otomasi tetap digunakan untuk proses yang berulang dengan variasi yang rendah, sedangkan otomasi terprogram dan fleksibel digunakan untuk sistem yang membutuhkan kemampuan penyesuaian terhadap perubahan kondisi atau kebutuhan (Groover, 2015).

2.2.15 Teknologi *Sensor Occupancy* (PIR)

Sensor Occupancy merupakan perangkat yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan atau aktivitas manusia dalam suatu area, sehingga sistem dapat merespons secara otomatis berdasarkan kondisi tersebut. Salah satu jenis *occupancy* yang umum digunakan adalah *Passive Infrared* (PIR), yaitu sensor yang bekerja dengan mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh objek, khususnya tubuh manusia.

Secara fisik, tubuh manusia memancarkan energi panas dalam bentuk radiasi inframerah sebagai bagian dari fenomena *thermal radiation*. Radiasi ini dapat dideteksi oleh sensor sebagai perubahan energi pada lingkungan sekitarnya (Fraden, 2010).

Prinsip kerja sensor PIR didasarkan pada kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan radiasi inframerah yang diterima. Ketika terjadi pergerakan manusia di dalam area deteksi, perubahan distribusi energi inframerah akan ditangkap oleh sensor dan diubah menjadi listrik yang selanjutnya digunakan sebagai *input* dalam sistem kontrol (Fraden, 2010).

Sensor PIR termasuk dalam kategori sensor pasif karena tidak memancarkan energi, melainkan hanya menerima radiasi dari lingkungan. Hal ini menjadikan sensor PIR banyak digunakan dalam sistem deteksi gerak (*motion detection*) dan sistem otomasi bangunan, terutama untuk pengendalian perangkat listrik seperti lampu secara otomatis berdasarkan keberadaan pengguna (Fraden, 2010).

2.2.16 Penjadwalan Pemeliharaan

Aktivitas penjadwalan pemeliharaan merupakan kegiatan yang mengutamakan ketersediaan aset dengan tuntutan proses operasional. Dalam manajemen aset, penjadwalan berfungsi untuk memastikan setiap aset dapat digunakan sebagaimana mestinya (Kelly, 1997). Penyesuaian jadwal produksi dengan jadwal pemeliharaan akan mengurangi gangguan-gangguan serta memastikan tindakan preventif sebelum terjadi penurunan per*forma* aset yang merugikan perusahaan. Oleh karena itu, penjadwalan yang dijalankan harus mempertimbangkan target *output* dengan kebutuhan pemeliharaan.

Interval jadwal pemeliharaan harus ditentukan berdasarkan pemodelan stokastik agar tindakan pencegahan sesuai dengan resiko kegagalan. Penjadwalan pemeliharaan menggunakan pendekatan distribusi probabilitas kegagalan aset sehingga pengambilan keputusan juga mempertimbangkan total biaya yang dikeluarkan perusahaan. Metode ini akan membantu pihak manajemen dalam menentukan waktu perbaikan komponen untuk menekan resiko kegagalan aset. Hal ini mencegah pemborosan sumber daya yang disebabkan oleh perbaikan aset yang mengalami kegagalan total maupun pemeliharaan aset terlalu lama. Keandalan sistem sangat bergantung pada data historis dalam perhitungan interval sehingga penjadwalan tidak bersifat spekulatif (Jardine, 1973).

Implementasi jadwal pemeliharaan terdiri dari dua bagian, yaitu perencanaan teknis (*planning*) dan penjadwalan operasional (*scheduling*). Perencanaan teknis berfokus pada metode, prosedur pemeliharaan, dan sumber daya yang dibutuhkan. Sedangkan penjadwalan operasional berfokus pada pembagian waktu dan teknisi dalam melakukan pemeliharaan di lapangan (Hartmann, 1987). Sistem penjadwalan pemeliharaan menggunakan alur perintah kerja (*work order system*) guna memastikan tindakan pemeliharaan sudah terdokumentasi. Dokumentasi inilah yang selanjutnya menjadi data historis jika teknisi akan melakukan pemeliharaan di masa yang akan datang (Mann, 1983).

2.2.17 Perancangan Sistem Otomasi (*Automation System Design*)

Perancangan sistem otomasi (*Automation System Design*) merupakan proses perencanaan dan pengembangan sistem kontrol otomatis yang memanfaatkan teknologi sensor, pengendali (*controller*), dan aktuator untuk menjalankan suatu proses secara otomatis berdasarkan kondisi tertentu. Sistem otomasi digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi ketergantungan terhadap pengendalian manual, serta

meningkatkan efektivitas penggunaan sumber daya pada suatu sistem industri (Mehta & Reddy, 2015).

Dalam implementasinya, sistem otomasi terdiri dari bagian *input, process,* dan *output*. Bagian *input* menerima data dari lingkungan melalui sensor, bagian *process* mengolah data menggunakan mikrokontroler atau sistem kendali, sedangkan bagian *output* menjalankan aksi tertentu melalui aktuator atau perangkat listrik. Integrasi antar komponen tersebut memungkinkan sistem bekerja secara otomatis sesuai kondisi aktual yang terdeteksi (Mehta & Reddy, 2015).

2.2.18 Integrasi Sistem (*System Integration Design*)

Integrasi sistem (*System Integration Design*) merupakan proses penggabungan beberapa komponen dalam suatu sistem agar dapat bekerja secara terkoordinasi dan saling terhubung. Integrasi dilakukan untuk memastikan proses pertukaran data, pengolahan in*forma*si, dan pelaksanaan fungsi kontrol dapat berjalan dengan baik antar perangkat dalam sistem.

Menurut Zurawski (2009), integrasi pada *embedded system* dalam bidang *industrial automation* melibatkan hubungan antara sensor, pengendali (*controller*), aktuator, dan media komunikasi untuk mendukung proses monitoring serta pengendalian sistem secara otomasi.

Dalam penerapannya, integrasi sistem banyak digunakan pada sistem otomasi untuk meningkatkan efektivitas pengendalian, mempermudah koordinasi antar perangkat, serta mendukung proses kerja yang lebih efisien dan responsif terhadap kondisi aktual di lapangan. Integrasi tersebut memungkinkan seluruh komponen sistem dapat bekerja sebagai satu kesatuan yang saling mendukung sesuai fungsi masing-masing.

2.2.19 Operasional Audit

Audit operasional merupakan suatu proses evaluasi yang dilakukan secara sistematis terhadap kegiatan operasional organisasi dengan tujuan untuk menilai tingkat efisiensi, efektivitas, dan ekonomisasi dari suatu proses kerja. Hal ini dapat dinyatakan bahwa audit operasional tidak hanya berfokus pada pemeriksaan keuangan, tetapi lebih menekankan pada bagaimana suatu aktivitas dijalankan serta sejauh mana aktivitas tersebut mampu mencapai tujuan organisasi secara optimal (Chambers & Rand, 2010).

Audit operasional memiliki tujuan utama untuk meningkatkan kinerja organisasi melalui evaluasi terhadap aktivitas operasional yang berlangsung. Selain itu, audit ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa setiap proses kerja telah berjalan sesuai dengan

prinsip efisiensi dan efektivitas, serta mampu memberikan nilai tambah bagi organisasi (Chambers & Rand, 2010).

2.3 Standar dan Kode Etik

Perancangan dan rekomendasi solusi atas permasalahan harus mematuhi standar profesional dan kode etik yang ketat. Hal ini untuk memastikan bahwa hasil solusi akhir tidak hanya efektif secara operasional, tetapi juga aman dan berkelanjutan. Oleh karena itu, seluruh analisis, metodologi, dan implementasi yang dirancang akan mematuhi standar dan kode etik sebagai berikut.

a. Standar

Standar yang digunakan dalam *Capstone Project* ini mengacu pada ISO 50001:2018 sebagai "payung" utama tentang sistem manajemen energi secara sistematis melalui pendekatan terstruktur yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, pemantauan, dan evaluasi kinerja energi secara berkelanjutan, sehingga pengelolaan energi menjadi bagian dari sistem manajemen organisasi yang terintegrasi.

Selain itu, *Capstone* ini juga mengacu pada ISO 9001:2015 tentang sistem manajemen mutu, di mana setiap aktivitas operasional harus memiliki prosedur kerja yang terdokumentasi, terstruktur, dan konsisten agar proses dapat dikendalikan dan dievaluasi secara sistematis, sehingga mendukung penyusunan prosedur operasional yang jelas dan terarah dalam lingkungan kerja. Dalam penyusunan dokumen prosedur kerja, *Capstone Project* ini mengacu pada ISO/TR 10013:2021 sebagai pedoman dalam pengelolaan in*form*asi terdokumentasi pada sistem manajemen mutu. Standar tersebut digunakan untuk membantu penyusunan *form*at dokumen, penggunaan bahasa, serta penyajian in*form*asi agar prosedur yang dibuat lebih terstruktur, mudah dipahami, dan dapat diterapkan secara efektif dalam kegiatan operasional.

Selain itu, aspek kenyamanan lingkungan kerja mengacu pada Permenaker No. 5 Tahun 2018 khususnya Pasal 9 yang menjelaskan bahwa suhu dan kelembaban harus dijaga dalam batas aman dan nyaman guna mendukung kesehatan serta produktivitas tenaga kerja, sehingga upaya efisiensi energi tetap memperhatikan kondisi kerja yang optimal untuk perancangan sistem pengendalian penggunaan fasilitas.

Selain standar terkait manajemen energi dan sistem operasional, *Capstone Project* ini juga mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) sebagai pedoman dalam perancangan sistem otomasi lampu berbasis sensor PIR. PUIL 2000 digunakan karena *Capstone* ini mengusulkan penerapan otomasi pada instalasi penerangan tegangan rendah yang telah tersedia di Gedung RnD Solo Technopark. Oleh karena itu, perancangan sistem memperhatikan prinsip-prinsip instalasi listrik yang aman dan

andal, antara lain penggunaan relay sebagai penghubung dan pemutus rangkaian daya lampu, pemisahan rangkaian kontrol bertegangan rendah (sensor PIR dan Arduino Uno) dengan rangkaian daya lampu, serta simulasi sistem pada instalasi listrik eksisting tanpa mengubah konfigurasi utama instalasi bangunan. Dengan demikian, rancangan yang diusulkan tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsional sistem otomasi, tetapi juga memperhatikan aspek keselamatan dan keandalan instalasi listrik dengan ketentuan PUIL 2000.

Standar yang digunakan dalam perancangan jadwal perawatan mengacu pada ISO 55001:2014 tentang organisasi pengelolaan *life cycle* aset. Standar ini menjelaskan perubahan sistem pemeliharaan dari pemeliharaan reaktif menjadi terjadwal. Perusahaan harus mengacu pada Klausul 8 mengenai pengelolaan siklus hidup fasilitas dapat diseimbangkan dengan mengurangi *downtime* dan efisiensi anggaran operasional perusahaan. Selain ISO 55001:2014, perancangan jadwal perawatan ini harus mengikuti Standar Internasional SAE JA1011 agar kebijakan yang diterapkan tidak bersifat subjektif. Perancangan perlu memenuhi 7 kriteria audit kegagalan untuk menjamin keandalan aset jangka panjang.

b. Kode Etik

Pada Pasal 8 UU No. 12 Tahun 2012 menekankan bahwa kegiatan akademik harus menjunjung etika akademik, sehingga perancang sebagai bagian dari sivitas akademika dituntut untuk bersikap jujur, objektif, dan bertanggung jawab dalam setiap kegiatan ilmiah, termasuk dalam penyusunan laporan tugas akhir. Selain itu, penerapan kode etik selama proses perancangan juga mengacu pada UU No. 30 Tahun 2000 yang mengatur bahwa perusahaan memiliki hak perlindungan terhadap in*form*asi bisnis yang bersifat rahasia dan bernilai komersial, sehingga dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan *Capstone Project* ini perancang menjaga kerahasiaan data perusahaan dengan tidak mengungkapkan in*form*asi sensitif secara terbuka sebagai bentuk tanggung jawab profesional dan kepatuhan terhadap ketentuan yang berlaku.