

**OPTIMIZING PREVENTIVE MAINTENANCE STRATEGIES FOR MEDICAL EQUIPMENT WITH A SYSTEMATIC REVIEW OF KEY APPROACHES AND APPLICATIONS**

**OPTIMALISASI STRATEGI PEMELIHARAAN PREVENTIF UNTUK ALAT KESEHATAN DENGAN KAJIAN SISTEMATIS DARI PENDEKATAN UTAMA DAN APLIKASINYA**

**Irwin Kurniadi<sup>1)</sup>\*, Ascobat Gani<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Kajian Administrasi Rumah Sakit, Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia,

<sup>2)</sup>Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

Email\* : [irwin.kurniadi@ui.ac.id](mailto:irwin.kurniadi@ui.ac.id)

**ABSTRACT**

*Preventive Maintenance (PM) is crucial for ensuring the reliability, safety and longevity of medical equipment in healthcare settings. This review evaluates key PM strategies emphasizing their applicability to resource-constrained hospitals. A systematic review was conducted, analyzing 19 articles selected from 37 screened, focusing on standardization, predictive maintenance, criticality-based prioritization, lifecycle management and data-driven approaches. Advantages, limitations and contextual relevance were concluded. Five main approaches were identified, standardization improves operational consistency and efficiency, while predictive maintenance enhances diagnostic accuracy and reduces downtime. Criticality-based prioritization optimizes resource allocation for high-risk devices and lifecycle management ensures sustainable use of high-value equipment. Data-driven strategies provide decision-making support but require significant technological investment. Combining standardization, criticality-based prioritization and basic predictive techniques is ideal for small and medium-sized hospitals. Larger hospitals can benefit from integrating lifecycle management and advanced data systems. A phased, flexible implementation ensures the reliability of medical equipment and the safety of patients.*

**Keywords:** *Preventive Maintenance, Medical Equipment, Predictive Maintenance, Maintenance Strategies*

**ABSTRAK**

*Pemeliharaan Preventif (PM) sangat penting untuk memastikan keandalan, keselamatan dan umur panjang alat kesehatan. Kajian ini mengevaluasi strategi PM utama dengan penekanan pada aplikasinya untuk rumah sakit dengan keterbatasan sumber daya. Kajian sistematis dilakukan dengan menganalisis 19 artikel yang dipilih dari 37 artikel yang disaring kemudian fokus pada standarisasi, pemeliharaan prediktif, prioritas berbasis kritikalitas, manajemen siklus hidup dan pendekatan berbasis data. Lalu disimpulkan terkait keunggulan, keterbatasan dan relevansinya. Lima pendekatan utama berhasil diidentifikasi, standarisasi meningkatkan konsistensi dan efisiensi operasional sedangkan pemeliharaan prediktif meningkatkan akurasi diagnosis dan mengurangi waktu tidak beroperasi. Prioritisasi berbasis kritikalitas mengoptimalkan alokasi sumber daya untuk perangkat berisiko tinggi dan manajemen siklus hidup memastikan penggunaan berkelanjutan alat bernilai tinggi. Pendekatan berbasis data mendukung pengambilan keputusan namun memerlukan*

*investasi teknologi yang signifikan. Kombinasi standarisasi, prioritisasi berbasis kritikalitas dan teknik prediktif sederhana ideal untuk rumah sakit kecil dan menengah. Rumah sakit besar dapat memanfaatkan integrasi manajemen siklus hidup dan sistem data canggih. Implementasi bertahap yang fleksibel memastikan keandalan alat kesehatan dan keselamatan pasien.*

**Kata Kunci:** *Pemeliharaan Preventif, Alat Kesehatan, Pemeliharaan Prediktif, Strategi Pemeliharaan*

## **PENDAHULUAN**

Pemeliharaan Preventif atau *preventive maintenance* (PM) untuk alat kesehatan merupakan aspek penting dalam manajemen infrastruktur layanan kesehatan dikarenakan secara langsung memengaruhi keandalan, keselamatan dan ketersediaan alat yang berhubungan dengan keselamatan dan nyawa pasien. Rumah sakit menghadapi kewajiban yang terus meningkat untuk menyeimbangkan pengendalian biaya dengan kebutuhan untuk memastikan perawatan berkualitas tinggi untuk peralatan tersebut. Strategi PM dirancang untuk meminimalkan kerusakan peralatan, memperpanjang usia pakai peralatan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya dengan menangani kebutuhan perawatan sebelum menyebabkan perbaikan atau penggantian yang akan memakan lebih biaya lebih besar lagi.

Sebagaimana dilaporkan oleh *American Hospital Association* (AHA) bahwa rumah sakit saat ini menghadapi permasalahan ekonomi yang belum pernah terjadi sebelumnya dengan meningkatnya biaya tenaga kerja, persediaan medis dan layanan kesehatan lainnya. Di antara tahun 2019 dan 2022 total pengeluaran rumah sakit meningkat sebesar 17,5% lebih dari dua kali lipat laju pertumbuhan penggantian biaya asuransi di Amerika yang semakin memperburuk tekanan keuangan pada

fasilitas kesehatan(American Hospital Association, 2024). Kesenjangan ini menempatkan institusi kesehatan dalam posisi yang menantang di mana mereka harus mempertahankan layanan penting seperti kamar operasi dan ruangan intensif sambil menghadapi biaya tenaga kerja dan peralatan yang lebih tinggi yang keduanya penting untuk menjaga keselamatan pasien.

Pemeliharaan Preventif lazimnya dilaksanakan oleh Unit pemeliharaan fasilitas dan alat rumah sakit (misalnya Instalasi/Unit Pemeliharaan Sarana Rumah Sakit atau unit teknisi elektromedik) menghadapi berbagai tantangan operasional. Secara ideal sebagaimana dijelaskan di Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 15 tahun 2023 unit ini bertanggung jawab memastikan seluruh sarana prasarana dan peralatan medis layak pakai dan aman digunakan setiap saat namun hal ini sering terkendala dengan kebijakan efisiensi operasional yang berakibat cakupan kerja yang luas namun sumber daya terbatas. Beban yang besar ini dapat membuat pelaksanaan PM kurang optimal (misalnya penundaan jadwal karena lebih fokus pada kerusakan mendadak). Proses PM yang manual dan terdokumentasi seadanya juga menghambat efisiensi. Keterbatasan jumlah dan kompetensi teknisi sering menjadi kendala utama dimana jumlah teknisi elektromedis tidak sebanding dengan jumlah dan kompleksitas peralatan yang dikelola. Teknisi yang ada

harus menangani berbagai jenis alat, dari yang sederhana hingga berteknologi tinggi, sering tanpa pelatihan khusus per alat. Keterbatasan ini diperparah oleh minimnya pelatihan berkelanjutan; unit pemeliharaan dituntut belajar sambil bekerja agar dapat mengikuti perkembangan teknologi alat kesehatan. Akibatnya, banyak RS harus mengandalkan vendor eksternal untuk PM atau perbaikan alat canggih yang tak mampu ditangani internal. Hal ini bisa mengurangi kecepatan respons dan menambah biaya. Oleh karena itu untuk meningkatkan kapabilitas internal diperlukan dukungan manajemen dalam rekrutmen dan peningkatan kompetensi teknis.

Selain keterbatasan Sumber Daya Manusia, unit pemeliharaan kurang terintegrasi dengan departemen pengguna alat maupun bagian manajemen lainnya. Tantangan koordinasi ini berdampak pada komunikasi dan alur kerja. Misalnya komunikasi dengan unit pengguna belum efektif sehingga permintaan servis lambat tersampaikan. Idealnya harus ada mekanisme komunikasi agar laporan kerusakan dari pengguna segera diteruskan ke teknis untuk direspons secara cepat. Kurangnya komunikasi dua arah juga membuat pengguna kurang paham pentingnya PM dan teknis kurang mendapat informasi pemakaian alat dari pengguna. Selain itu integrasi dengan bagian lain seperti logistik/pengadaan dan keuangan masih lemah. Unit pemeliharaan sering tidak dilibatkan dalam perencanaan anggaran pengadaan suku cadang atau penilaian kebutuhan penggantian alat. Padahal data dari pemeliharaan penting untuk perencanaan keuangan RS. Tantangan koordinasi lintas bagian ini diakui menjadi

pekerjaan rumah bagi banyak RS. Dukungan manajemen puncak sangat dibutuhkan, misalnya dengan menetapkan kebijakan bahwa laporan kegiatan IPSRS disampaikan rutin ke direksi dan rapat koordinasi antar unit dilakukan berkala. Tentunya untuk menghasilkan keputusan yang tepat dibutuhkan sistem pemeliharaan yang baik sehingga berbasis data (World Health Organization, 2011b).

Sebagai respons terhadap tantangan ini berbagai pendekatan telah diusulkan, termasuk penggunaan analitik prediktif, manajemen berbasis siklus hidup dan prioritas berbasis kritikalitas dimana strategi-strategi ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi peralatan yang paling kritis untuk mencegah downtime yang tidak terduga.
2. Mengurangi biaya pemeliharaan melalui optimalisasi jadwal dan prioritas.
3. Meningkatkan keselamatan pasien dengan memastikan alat kesehatan berfungsi secara optimal setiap saat.

Biaya peralatan kesehatan juga terus meningkat karena Rumah sakit semakin bergantung pada perangkat medis canggih yang mahal untuk diakuisisi, dirawat dan diperbarui. Sebagai contoh mesin pencitraan resonansi magnetik (MRI) yang harganya lebih dari \$3 juta dan alat ini memerlukan pemeliharaan rutin agar berfungsi dengan baik. Demikian pula harga untuk persediaan lainnya seperti yang dibutuhkan di kamar operasi telah meningkat lebih dari 30% sejak 2019 yang semakin menegaskan perlunya pendekatan pemeliharaan yang efektif dan sistematis yang mengurangi *downtime* peralatan yang tidak terduga dan menjaga sumber daya

milik Rumah Sakit(American Hospital Association, 2024).

*World Health Organization* (WHO) menyediakan kerangka kerja dasar untuk manajemen teknologi kesehatan yang menekankan praktik pemeliharaan terstruktur dan manajemen inventaris sebagai pilar efisiensi operasional. Pedoman WHO ini termasuk penggunaan *Computerized Maintenance Management Systems* (CMMS) untuk mendukung pendekatan berbasis data untuk merampingkan proses pemeliharaan preventif dan korektif yang pada akhirnya membantu mengurangi biaya. CMMS dan pedoman WHO yang lebih luas tentang manajemen inventaris memungkinkan layanan kesehatan untuk memprediksi kebutuhan pemeliharaan, memprioritaskan alokasi sumber daya dan merencanakan investasi modal jangka panjang secara strategis(World Health Organization, 2011a). Kerangka kerja ini sangat penting bagi rumah sakit yang beroperasi di lingkungan dengan sumber daya terbatas dimana keterbatasan finansial mengharuskan prioritas pemeliharaan dilakukan secara hati-hati.

Ulasan ini bertujuan untuk mengevaluasi strategi PM untuk alat kesehatan dengan membandingkan teknik yang direkomendasikan WHO terhadap solusi teknologi modern seperti pemeliharaan prediktif. Ulasan ini akan membahas tiga pertanyaan penelitian utama:

1. Bagaimana model prediktif meningkatkan hasil pemeliharaan?
2. Bisakah peralatan medis secara berkelanjutan berfungsi dengan baik di Rumah Sakit?

3. Peran apa yang dimainkan oleh sistem berbasis data seperti CMMS dalam mendukung rumah sakit dengan keterbatasan anggaran untuk mengelola sumber daya mereka secara efisien?

Pada akhirnya ulasan ini diharapkan dapat menyediakan informasi bagi penyelenggara layanan kesehatan, pembuat kebijakan dan teknisi elektromedis untuk membuat keputusan yang terinformasi dalam memilih dan mengimplementasikan strategi PM yang menyeimbangkan pendekatan teknologi maju dengan pedoman WHO yang terstruktur dan hemat biaya.

## **METODE**

Pendekatan penelitian ini menggunakan *systematic review* untuk mengevaluasi strategi *Preventive Maintenance* pada alat kesehatan di lingkungan layanan kesehatan. Proses ini dirancang untuk memberikan wawasan yang mendalam mengenai efektivitas pendekatan PM dengan memanfaatkan panduan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Pendekatan ini memastikan sistematisasi dan transparansi dalam proses seleksi dan analisis literatur.

Agar hasil tinjauan ini relevan maka artikel yang dimasukkan telah memenuhi beberapa kriteria inklusi yang telah ditetapkan antara lain publikasi di jurnal *peer-reviewed*, ditulis dalam bahasa Inggris dan diterbitkan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, artikel terpilih harus mencakup tema yang relevan seperti

standardisasi PM, penggunaan teknologi prediktif, *criticality-based prioritization*, *lifecycle management* dan integrasi sistem berbasis data seperti *Computerized Maintenance Management Systems* (CMMS).

Di sisi lain artikel yang tidak relevan dengan tujuan penelitian dikecualikan seperti artikel yang hanya membahas pemeliharaan korektif tanpa elemen preventif, laporan kasus tanpa evaluasi empiris atau yang berfokus pada perangkat di luar konteks layanan kesehatan tidak dimasukkan ke dalam tinjauan.

Proses pencarian literatur dilakukan melalui empat database utama yaitu IEEE Xplore, ProQuest, ScienceDirect dan SpringerLink. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci seperti *preventive maintenance*, *medical equipment*, *predictive maintenance*, *criticality-based prioritization* dan CMMS. Setiap kata kunci dirancang menggunakan logika Boolean untuk meningkatkan cakupan pencarian dan memastikan hanya artikel relevan yang disaring.

Proses seleksi artikel dilakukan dalam beberapa tahap yang terstruktur:

1. Identifikasi: Artikel yang relevan diunduh dari database berdasarkan hasil pencarian awal jika terdapat kesamaan maka artikel dihapus agar tidak terjadi duplikasi artikel.
2. Skrining: Judul dan abstrak artikel diperiksa secara manual untuk menilai relevansi awal dengan topik penelitian.
3. Penilaian Kelayakan: Artikel yang lolos tahap skrining dibaca secara

mendalam untuk memastikan kesesuaiannya dengan kriteria inklusi.

4. Pemilihan Akhir: Hanya artikel yang memenuhi seluruh kriteria yang dimasukkan ke dalam analisis akhir.

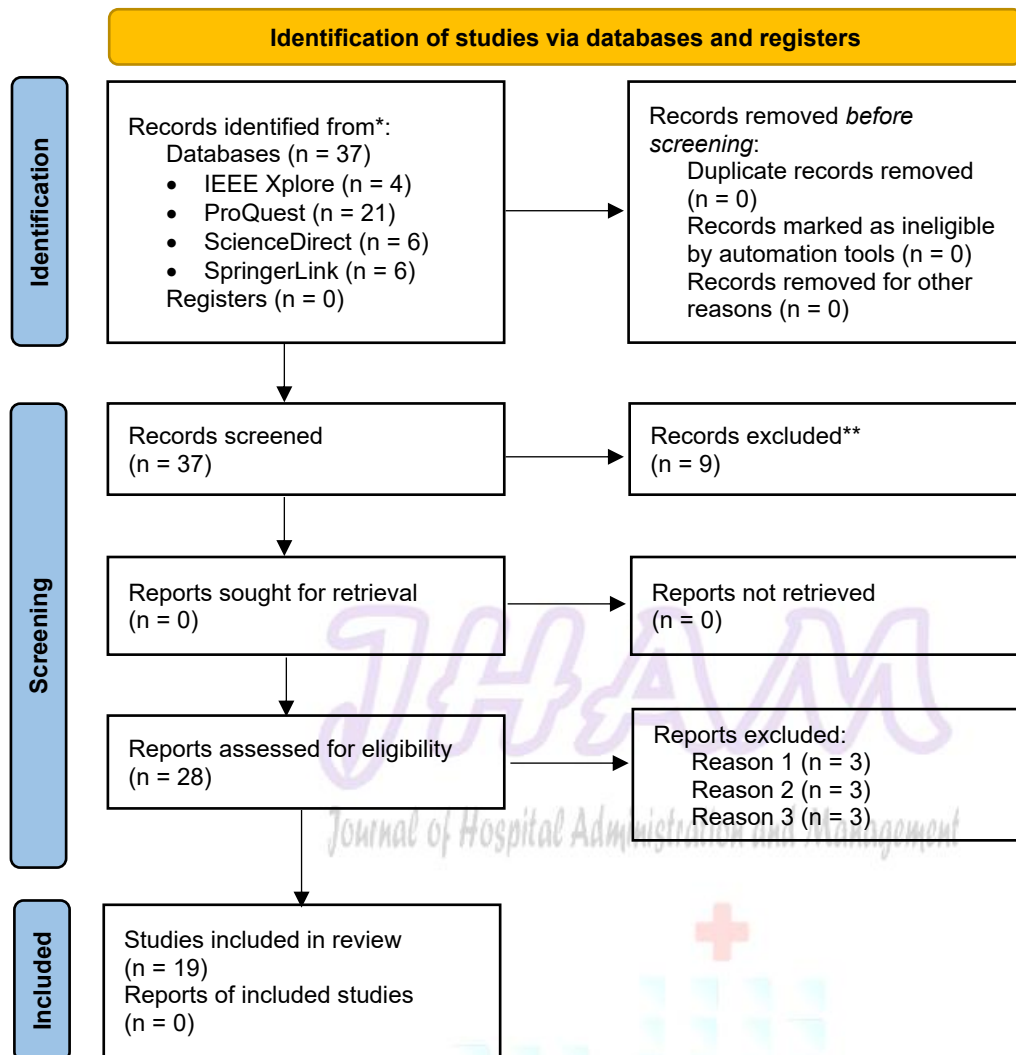
Setelah artikel yang relevan terpilih langkah selanjutnya adalah informasi utama dari setiap artikel diekstraksi termasuk tema penelitian, metode yang digunakan, dan temuan utama. Artikel-artikel tersebut kemudian dikategorikan berdasarkan tema utama, seperti:

1. Standardisasi proses PM.
2. Penggunaan teknologi prediktif.
3. Pendekatan berbasis prioritas kritikalitas.

Analisis kualitatif dilakukan untuk menggali temuan dari setiap artikel dengan fokus pada bagaimana strategi PM yang diterapkan memengaruhi efektivitas operasional alat kesehatan di rumah sakit. Proses ini memberikan dasar untuk mengidentifikasi praktik terbaik dalam implementasi PM yang relevan dengan berbagai konteks operasional.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Setelah meninjau 19 artikel yang relevan kami mengidentifikasi lima tema utama yang mendominasi strategi PM pada alat kesehatan yaitu standarisasi, teknologi prediktif, prioritasasi berbasis kritikalitas, manajemen siklus hidup dan pendekatan berbasis data. Pendekatan standarisasi menjadi komponen penting dalam memastikan konsistensi operasional PM di rumah sakit. Artikel pertama dan keempat menyoroti peran peta jalan



Gambar 1. PRISMA 2020 dari studi

berbasis kebutuhan (*requirement-based roadmap*) dan kerangka kerja (*framework*) dalam mengurangi variasi proses antar departemen. Implementasi *roadmap* berbasis teknologi terbukti mengurangi waktu inspeksi manual hingga 20% sementara kerangka kerja meningkatkan konsistensi antar unit dengan mengurangi variasi operasional sebesar 30 (Udroiu and Pleşanu, 2020; Ma, Flanigan and Bergés, 2024).

Pendekatan ini sangat relevan untuk rumah sakit yang memiliki sumber daya manusia dengan tingkat keahlian teknis yang

berbeda karena menyediakan panduan yang jelas untuk pelaksanaan PM. Namun tantangan utama yang dihadapi adalah kebutuhan investasi awal yang signifikan untuk pelatihan dan penyelarasan sistem.

Teknologi prediktif termasuk kecerdasan buatan (AI) dan *Internet of Things* (IoT) menjadi solusi yang semakin penting dalam PM. Artikel kelima menunjukkan bahwa AI mampu memprediksi potensi kegagalan alat dengan akurasi hingga 90% sementara

IoT memungkinkan pemantauan real-time dan diagnosis awal (Shamayleh, Awad and Farhat, 2020; Zamzam, Hasikin and Wahab, 2023; Ucar, Karakose and Kırımça, 2024). Kedua teknologi ini mampu mengurangi downtime hingga 20% dan mendukung efisiensi operasional. Namun teknologi prediktif pasti memerlukan infrastruktur teknologi yang canggih yang akan menjadi tantangan bagi rumah sakit dengan kapasitas teknologi rendah. Alternatif yang lebih sederhana seperti analisis *downtime* retrospektif yang diuraikan dalam artikel keenam tetap relevan untuk rumah sakit dengan keterbatasan teknologi (Arab-Zozani *et al.*, 2021).

Prioritisasi alat kesehatan berdasarkan risiko dan dampak menjadi tema yang menonjol dalam beberapa artikel. Artikel ketiga memperkenalkan indeks prioritas berbasis kritikalitas yang membantu rumah sakit mengalokasikan sumber daya pemeliharaan untuk perangkat dengan risiko tinggi (Hernández-López, Pimentel-Aguilar and Ortiz-Posadas, 2020). Selain itu metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) yang dijelaskan dalam artikel ketujuh belas memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih presisi dalam menentukan prioritas alat (Mahfoud, El Barkany and El Biyaali, 2016). Pendekatan ini sangat cocok untuk rumah sakit kecil hingga menengah dimana sumber daya terbatas memerlukan pengelolaan yang hati-hati. Dengan memusatkan perhatian pada perangkat yang paling kritis, rumah sakit dapat mengurangi risiko kegagalan besar yang dapat mengancam keselamatan pasien.

Pendekatan berbasis siklus hidup (*lifecycle management*) menyediakan kerangka untuk mengelola alat kesehatan dari

pengadaan hingga dekomisioning. Artikel kedua menunjukkan bahwa manajemen siklus hidup mampu meningkatkan umur ekonomis alat dengan mengintegrasikan perencanaan jangka panjang ke dalam strategi PM (Mang *et al.*, 2023). Strategi ini relevan untuk rumah sakit besar dengan kapasitas untuk merencanakan investasi modal secara strategis. Namun untuk rumah sakit dengan anggaran terbatas fokus pada tahapan tertentu dalam siklus hidup seperti pemeliharaan dan pembaruan maka akan lebih realistis.

Penggunaan sistem berbasis data seperti CMMS menjadi salah satu solusi utama untuk meningkatkan efisiensi PM. Artikel kedua belas dan kesembilan belas menunjukkan bahwa CMMS mampu memberikan prediksi yang lebih akurat terhadap kebutuhan pemeliharaan dan mendukung perencanaan alokasi sumber daya secara strategis (Crapanzano *et al.*, 2025; Fong *et al.*, 2022). Dengan pendekatan ini meskipun sangat efektif memerlukan dukungan infrastruktur teknologi dan pelatihan yang intensif. Rumah sakit yang belum memiliki sistem informasi yang matang mungkin memerlukan dukungan eksternal untuk mengimplementasikan solusi ini secara efektif. *Systematic review* ini mengidentifikasi bahwa strategi PM yang efektif adalah yang mengintegrasikan beberapa pendekatan utama: standarisasi untuk konsistensi operasional, teknologi prediktif untuk akurasi dan efisiensi, prioritisasi berbasis kritikalitas untuk optimalisasi sumber daya, manajemen siklus hidup untuk keberlanjutan aset dan pendekatan berbasis data untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik. Pendekatan-pendekatan ini

menawarkan solusi yang fleksibel dan adaptif yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kapasitas rumah sakit di Indonesia. Dengan tantangan anggaran yang sering menjadi hambatan maka kombinasi teknologi prediktif sederhana dengan prioritasasi berbasis risiko dapat menjadi strategi yang paling realistis untuk diterapkan.

Strategi PM yang diidentifikasi dalam ulasan ini memberikan landasan penting bagi pengelolaan alat kesehatan di rumah sakit Indonesia namun penerapan berbagai pendekatan yang telah diuraikan tidak dapat dilepaskan dari konteks lokal termasuk keterbatasan anggaran, variasi kapasitas teknologi dan sumber daya manusia. Diskusi ini akan mengintegrasikan analisis kekuatan, kelemahan dan peluang dari setiap pendekatan untuk memberikan rekomendasi strategis yang relevan.

#### *Pentingnya Pendekatan Kombinasi*

Pendekatan standarisasi, teknologi prediktif, prioritasasi berbasis kritikalitas, manajemen siklus hidup dan sistem berbasis data masing-masing memiliki manfaat unik akan tetapi salah satu tantangan utama di rumah sakit Indonesia adalah bagaimana mengintegrasikan elemen-elemen ini ke dalam strategi yang realistis terutama untuk rumah sakit kecil atau menengah dengan keterbatasan anggaran. Oleh karena itu pendekatan kombinasi di mana standarisasi menjadi fondasi awal lalu diikuti dengan adopsi bertahap teknologi prediktif sederhana dan prioritasasi risiko menawarkan solusi yang paling masuk akal. Sebagai contoh standarisasi menyediakan panduan operasional yang dapat diterapkan di seluruh departemen tanpa memerlukan

investasi teknologi besar (Udroiu and Pleşanu, 2020; Ma, Flanigan and Bergés, 2024). Prioritisasi berbasis kritikalitas memungkinkan alokasi sumber daya yang lebih efisien dengan mengarahkan perhatian pada perangkat yang memiliki dampak terbesar terhadap keselamatan pasien (Mahfoud, El Barkany and El Biyaali, 2016; Hernández-López, Pimentel-Aguilar and Ortiz-Posadas, 2020). Integrasi ini memungkinkan rumah sakit untuk tetap efektif dalam pengelolaan PM meskipun menghadapi kendala kapasitas.

#### *Standarisasi vs. Teknologi Prediktif*

Pendekatan standarisasi memiliki kekuatan dalam menciptakan keseragaman proses tetapi tidak memberikan kemampuan prediksi yang diperlukan untuk meminimalkan *downtime* mendadak. Sebaliknya teknologi prediktif seperti AI dan IoT memberikan keuntungan signifikan dalam mendiagnosis masalah sebelum terjadi (Shamayleh, Awad and Farhat, 2020; Ucar, Karakose and Kırımça, 2024). Teknologi ini membutuhkan infrastruktur yang mahal dan keahlian teknis yang sering kali tidak tersedia di banyak rumah sakit di Indonesia. Kombinasi keduanya dapat menjadi solusi optimal misalnya standarisasi dapat digunakan sebagai landasan untuk membangun proses yang konsisten sementara teknologi prediktif diintegrasikan secara bertahap pada perangkat kritis yang memerlukan pengawasan lebih intensif.

#### *Manajemen Siklus Hidup: Relevansi untuk Rumah Sakit Besar*

Manajemen siklus hidup memberikan pendekatan yang komprehensif untuk mengoptimalkan investasi alat kesehatan (Mang *et al.*, 2023) tetapi pendekatan ini

lebih relevan untuk rumah sakit besar yang memiliki kapasitas untuk perencanaan jangka panjang. Rumah sakit kecil atau menengah dapat fokus pada fase tertentu dalam siklus hidup seperti pemeliharaan preventif dan penggantian perangkat yang paling rentan terhadap kerusakan. Selain itu manajemen siklus hidup dapat didukung oleh sistem berbasis data seperti CMMS yang memungkinkan perencanaan yang lebih strategis dan efisien (Crapanzano et al., 2025; Fong et al., 2022).

#### *Pendekatan Data: Peluang dan Tantangan*

Pendekatan berbasis data menawarkan kemampuan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan PM namun mengadopsi CMMS atau sistem berbasis data lainnya memerlukan infrastruktur teknologi yang belum tentu tersedia di sebagian besar rumah sakit Indonesia. Tantangan lainnya adalah resistensi terhadap perubahan terutama di fasilitas yang masih mengandalkan metode manual. Sebagai langkah awal digitalisasi sederhana pada perangkat dengan risiko tinggi dapat menjadi titik masuk yang realistis. Kolaborasi dengan penyedia teknologi lokal dapat membantu mengurangi biaya implementasi dan memastikan keberlanjutan program.

#### *Rekomendasi Strategis*

Berdasarkan diskusi ini kami merekomendasikan strategi berikut untuk implementasi PM di rumah sakit Indonesia:

1. Mulai dengan Standarisasi: Bangun dasar operasional yang konsisten dengan fokus pada perangkat kritis yang memiliki dampak tinggi terhadap keselamatan pasien.

2. Integrasikan Prioritisasi Berbasis Risiko: Gunakan metode seperti AHP untuk mengalokasikan sumber daya pemeliharaan secara efisien terutama di rumah sakit kecil dan menengah.
3. Adopsi Bertahap Teknologi Prediktif: Mulai dengan analisis *downtime* retrospektif kemudian secara bertahap beralih ke teknologi prediktif seperti AI atau IoT untuk perangkat tertentu.
4. Manajemen Siklus Hidup Selektif: Terapkan pendekatan siklus hidup untuk perangkat dengan nilai ekonomi tinggi atau risiko kegagalan besar.
5. Gunakan Sistem Berbasis Data Secara Bertahap: Digitalisasi perangkat kritis dapat menjadi langkah awal sebelum mengadopsi sistem berbasis data yang lebih kompleks.

Pendekatan bertahap dan terintegrasi ini akan memungkinkan rumah sakit di Indonesia untuk mengatasi keterbatasan anggaran sambil tetap meningkatkan efisiensi operasional dan keandalan alat kesehatan. Strategi ini juga membuka jalan untuk adopsi teknologi modern secara berkelanjutan di masa depan.

#### *Manfaat Terintegrasi Sistem Terkomputerisasi*

Pemanfaatan sistem terkomputerisasi atau CMMS untuk pemeliharaan akan memberikan banyak manfaat dalam integrasi antar departemen. Pada rumah sakit modern dengan ribuan aset peralatan medis dan aktivitas servis yang padat makapencatatan manual tidak lagi memadai. Sistem CMMS memungkinkan pengelolaan

inventaris aset, jadwal PM, dan riwayat perbaikan secara terpusat dan real-time. Semua unit terkait dapat terhubung dalam satu platform:

- **Unit Pengguna (Klinis)**  
Dapat mengajukan permintaan perbaikan secara elektronik. Melalui sistem permintaan tersebut langsung diteruskan ke teknisi, memastikan respon yang lebih cepat dibanding menelpon atau mengisi formulir manual. Pengguna juga bisa melihat jadwal maintenance yang direncanakan, sehingga dapat mempersiapkan diri (misalnya menyiapkan waktu saat alat akan diinspeksi) dan memahami alasan *downtime* peralatan. Komunikasi yang terintegrasi ini meningkatkan kepercayaan dan kerjasama sehingga staf klinis paham manfaat PM dan teknisi dianggap bagian dari tim pelayanan klinis.
- **Departemen Keuangan/Pengadaan**  
Sistem terkomputerisasi memudahkan pencatatan biaya maintenance (biaya suku cadang, jasa servis, *downtime*) secara rinci dan dapat ditarik laporannya kapan saja. Hal ini membantu bagian keuangan dalam mengawasi anggaran perawatan dan perencanaan biaya jangka panjang. CMMS dapat menghasilkan laporan tren biaya per alat atau per departemen sehingga manajemen mengetahui peralatan mana yang biaya pemeliharaannya tinggi dan bisa merencanakan penggantian unit baru bila biaya perbaikan sudah tidak ekonomis. Integrasi dengan pengadaan juga memungkinkan untuk menelusur stok suku cadang

sehingga saat stok hampir habis maka sistem memberi notifikasi ke bagian logistik untuk memesan kembali. Bahkan beberapa CMMS dapat dihubungkan dengan modul pengadaan untuk otomatis membuat permintaan pembelian suku cadang atau jasa servis ketika diperlukan, memastikan tidak ada keterlambatan karena masalah administrasi.

- **Departemen Lain**  
Bagian manajemen risiko atau keselamatan pasien dapat memanfaatkan data dari CMMS untuk memastikan kepatuhan regulasi (misal melihat persentase PM terlaksana tepat waktu sebagai bagian dari indikator mutu). Pimpinan RS juga mendapatkan gambaran kondisi aset medis: jumlah aset, usia pakai, status kalibrasi, dan lainnya, sebagai basis pengambilan keputusan strategis. Contoh implementasi, WHO merekomendasikan setiap fasilitas kesehatan dengan peralatan medis yang banyak untuk mengadopsi CMMS dan bahkan telah menerbitkan panduan khusus tentang elemen kunci CMMS yang efektif. Beberapa rumah sakit besar menggunakan perangkat lunak CMMS komersial atau mengembangkan sistem sendiri yang terintegrasi dengan SIMRS (Sistem Informasi Manajemen RS). Contoh konkrit: Pisa University Hospital di Italia menggunakan CMMS untuk mencatat seluruh work order, yang datanya kemudian dianalisis untuk meningkatkan strategi pemeliharaan. Ini

menunjukkan bahwa CMMS tak hanya membantu administrasi harian tetapi juga menjadi basis pendekatan berbasis data dalam manajemen alat (World Health Organization, 2011b).

Dengan sistem terkomputerisasi, alur informasi antar unit menjadi lancar: pengguna melapor cepat, teknisi menindaklanjuti sesuai jadwal, manajemen mendapat visibilitas, dan keuangan dapat kontrol biaya. Investasi di CMMS terbukti meningkatkan efisiensi operasional pemeliharaan serta mendukung transparansi dan akuntabilitas lintas departemen (Omar *et al.*, 2024).

*Pemeliharaan Preventif dan Pedoman Pabrik*  
Pedoman pabrikan (manual servis) biasanya menjadi rujukan utama dalam menyusun jadwal dan prosedur PM untuk setiap alat medis. Mengikuti rekomendasi pabrik dianggap menjamin alat dirawat sesuai standar desain dan menjaga garansi. Namun hal ini tidak selalu optimal bagi rumah sakit dengan sejumlah pertimbangan:

- **Pola Pemakaian dan Lingkungan Lokal**  
Pabrikan memberikan interval PM (misal servis tiap 6 bulan) berdasarkan asumsi umum. Rumah sakit dapat memiliki kondisi berbeda seperti intensitas penggunaan alat bisa lebih tinggi atau rendah dari asumsi dan lingkungan (debu, kelembapan, kualitas listrik) bervariasi. Karena itu sering diperlukan penyesuaian frekuensi PM di lapangan. Pedoman WHO pun mengakui bahwa dalam kasus tertentu pengguna dapat

mengubah frekuensi PM dari yang disarankan pabrik untuk menyesuaikan kondisi lokal (World Health Organization, 2011). Untuk alat yang jarang dipakai mungkin interval PM diperpanjang sedikit tanpa mengorbankan keamanan sedangkan alat yang sangat kritis atau sering dipakai intensif justru perlu inspeksi lebih sering daripada rekomendasi standar.

- **Biaya dan Sumber Daya**  
Mengikuti semua anjuran pabrikan bisa sangat mahal dan memerlukan sumber daya besar. Pabrikan mungkin menganjurkan penggantian suku cadang tertentu secara periodik meskipun komponen tersebut masih layak demi kepastian performa. Bagi RS dengan keterbatasan anggaran hal ini kurang efisien. Rekomendasi pabrikan juga sering mengharuskan penggunaan suku cadang asli dan teknisi bersertifikat pabrik yang akan berbiaya tinggi. Tren terbaru di komunitas klinik teknik adalah menerapkan *evidence-based maintenance* yakni menentukan jadwal PM berdasar data historis kinerja dan reliabilitas alat bukan semata kalender pabrikan (Iadanza *et al.*, 2019). Penelitian menunjukkan adanya perdebatan mengenai kredibilitas rekomendasi pabrikan; beberapa studi menemukan interval PM pabrikan bisa terlalu konservatif tanpa signifikan menaikkan keandalan. Dengan data kerusakan aktual maka RS dapat mengoptimalkan strategi PM (Mahfoud, El Barkany and El Biyaali, 2016), sehingga kegiatan

maintenance lebih efektif dari segi biaya namun tetap aman. Tentu setiap pengurangan frekuensi atau lingkup PM dari anjuran pabrik harus didasarkan pada analisis risiko yang kuat.

- Keterbatasan Teknis dan Kepatuhan Tantangan lain adalah kemampuan teknis RS untuk memenuhi persyaratan pabrik. Misalnya pabrik mungkin mensyaratkan kalibrasi dengan alat khusus atau prosedur rumit setiap beberapa bulan. RS yang tidak punya alat kalibrasi tersebut atau teknisi tersertifikasi terpaksa mengundang pihak luar atau mengirim alat ke pusat servis. Regulasi dan akreditasi biasanya mewajibkan RS memiliki program pemeliharaan sesuai standar. Beberapa standar (seperti akreditasi KARS di Indonesia atau Joint Commission di AS) mendorong pemeliharaan sesuai rekomendasi pabrik namun mengizinkan penyimpangan berbasis bukti asalkan terdokumentasi dan tidak untuk peralatan berisiko tinggi. Ini berarti RS harus berhati-hati jika memilih interval berbeda, harus ada justifikasi (misal data reliabilitas) dan tetap memenuhi persyaratan keselamatan.

Secara garis besar mengikuti pedoman pabrik adalah titik awal yang baik untuk PM tetapi bukan satu-satunya pendekatan. RS perlu menilai konteks penggunaan, biaya dan kemampuan internal. Kombinasi pendekatan bisa dilakukan dengan mematuhi pedoman pabrik untuk alat kritis atau selama masa garansi, sambil mengembangkan rencana pemeliharaan

berbasis data performa alat untuk jangka panjang. Literatur mendukung pendekatan ini dengan dorongan ke arah *evidence-based maintenance* yang menyeimbangkan keamanan dan efisiensi. Yang penting setiap perubahan dari rekomendasi pabrik harus melalui proses manajemen risiko dan disetujui oleh komite teknis atau klinis RS serta terdokumentasi untuk memenuhi aspek kepatuhan terhadap regulasi.

#### *Implementasi PM di Rumah Sakit Kecil dan Menengah*

Rumah sakit kecil di Indonesia menghadapi tantangan unik dalam mengimplementasikan strategi PM untuk alat kesehatan. Keterbatasan anggaran, infrastruktur teknologi dan sumber daya manusia sering kali menjadi hambatan utama. Oleh karena itu pendekatan PM untuk rumah sakit kecil harus dirancang agar efisien, hemat biaya dan realistis sambil tetap memberikan dampak yang signifikan terhadap keandalan alat kesehatan.

Pendekatan pertama yang dapat diterapkan adalah standarisasi proses dasar. Dengan mengembangkan panduan sederhana untuk perangkat kritis seperti ventilator rumah sakit dapat menciptakan konsistensi operasional tanpa memerlukan investasi besar. Sebagai contoh penggunaan daftar tilik inspeksi harian dapat membantu staf teknis mendeteksi masalah sebelum berkembang menjadi kerusakan besar. Standarisasi ini juga menyediakan landasan bagi pengembangan program PM yang lebih kompleks di masa depan.

Langkah berikutnya adalah prioritasasi berbasis kritikalitas yang memungkinkan rumah sakit kecil untuk fokus pada

perangkat dengan risiko kegagalan tinggi. Metode seperti AHP dapat digunakan untuk menentukan perangkat yang membutuhkan perhatian utama berdasarkan dampaknya terhadap keselamatan pasien. Pendekatan ini sangat efektif untuk mengelola sumber daya yang terbatas terutama di rumah sakit kecil dengan jumlah perangkat yang banyak tetapi tenaga teknis yang terbatas. Selain itu analisis *downtime* retrospektif merupakan alternatif yang sederhana namun efektif untuk teknologi prediktif yang mahal (Lu *et al.*, 2024). Rumah sakit kecil dapat menganalisis riwayat kerusakan perangkat secara manual atau menggunakan alat digital sederhana seperti *spreadsheet* untuk mengidentifikasi pola kegagalan. Dengan cara ini sumber daya dapat diarahkan untuk mencegah kerusakan pada perangkat yang paling sering bermasalah.

Digitalisasi sederhana juga dapat memberikan kontribusi besar terhadap pengelolaan PM di rumah sakit kecil. Penggunaan perangkat lunak sederhana atau *spreadsheet* terpusat untuk mencatat jadwal pemeliharaan dan riwayat perangkat dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi pengambilan keputusan. Langkah ini merupakan dasar penting untuk adopsi sistem berbasis data yang lebih kompleks di masa depan.

Kemudian pelatihan dasar untuk staf teknis menjadi elemen penting dalam memastikan keberlanjutan program PM. Dengan pelatihan sederhana seperti inspeksi visual perangkat staf rumah sakit dapat menangani masalah dasar tanpa memerlukan bantuan teknisi eksternal yang mahal. Pelatihan ini juga meningkatkan kesadaran staf terhadap pentingnya pemeliharaan preventif.

Pendekatan-pendekatan ini jika diterapkan secara bertahap dan strategis memberikan solusi yang realistis bagi rumah sakit kecil untuk meningkatkan keandalan alat kesehatan mereka. Dimulai dengan standarisasi perangkat kritis dan prioritas risiko rumah sakit dapat membangun dasar yang kokoh untuk transisi menuju teknologi yang lebih maju seperti kecerdasan buatan atau IoT. Hal lainnya adalah integrasi bertahap dari langkah-langkah ini memungkinkan rumah sakit kecil untuk tetap efisien dalam pengelolaan sumber daya sekaligus memastikan keselamatan pasien.

Dengan mengadopsi strategi ini diharapkan rumah sakit kecil di Indonesia dapat menjawab tantangan unik mereka sambil meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional alat kesehatan. Pendekatan ini tidak hanya relevan untuk kebutuhan saat ini tetapi juga memberikan fondasi yang kuat untuk pengembangan jangka panjang. Strategi ini selanjutnya dapat menjadi acuan bagi rumah sakit di seluruh Indonesia untuk membangun sistem pemeliharaan alat kesehatan yang lebih baik dan berkelanjutan.

## **KESIMPULAN**

Ulasan ini mengidentifikasi lima pendekatan utama untuk *Preventive Maintenance* alat kesehatan yaitu standarisasi, teknologi prediktif, prioritas berbasis kritikalitas, manajemen siklus hidup dan pendekatan berbasis data. Masing-masing memiliki kekuatan dan kelemahan yang dapat disesuaikan dengan konteks rumah sakit di Indonesia. Untuk rumah sakit kecil dan menengah dengan

keterbatasan anggaran maka kombinasi standarisasi sederhana, prioritisasi berbasis kritikalitas, dan analisis *downtime* retrospektif adalah langkah yang paling realistis. Sementara itu rumah sakit besar dapat mengintegrasikan teknologi prediktif dan manajemen siklus hidup untuk memaksimalkan efisiensi dan keberlanjutan alat kesehatan. Pendekatan bertahap dan fleksibel ini tidak hanya membantu mengatasi keterbatasan operasional tetapi juga memberikan landasan bagi adopsi teknologi modern di masa depan. Diharapkan dengan strategi ini rumah sakit di Indonesia dapat meningkatkan keandalan alat kesehatan, mengoptimalkan sumber daya dan memastikan keselamatan pasien.

## **SARAN**

Sebagai langkah awal yang realistis dan hemat biaya rumah sakit dapat menjalankan program *Preventive Maintenance* yang efektif dengan memprioritaskan perawatan pada alat-alat kritis yang berdampak langsung pada keselamatan pasien serta menerapkan standarisasi kerja sederhana menggunakan daftar tilik harian. Tanpa perlu investasi teknologi yang mahal, manajemen pemeliharaan dapat dimulai melalui digitalisasi sederhana menggunakan *spreadsheet* untuk memantau jadwal dan menganalisis riwayat kerusakan masa lalu guna memprediksi kebutuhan suku cadang secara akurat. Sinergi antara disiplin pencatatan, prioritisasi berbasis risiko dan komunikasi aktif antara pengguna alat dan teknisi akan menjamin keandalan pelayanan kesehatan yang optimal meskipun di tengah keterbatasan anggaran operasional.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Kajian Administrasi Rumah Sakit, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia atas dukungan fasilitas akademik dan akses terhadap pangkalan data literatur internasional yang memungkinkan terlaksananya kajian sistematis ini. Penghargaan juga disampaikan kepada rekan-rekan sejawat yang telah memberikan masukan konstruktif dan diskusi berharga selama proses penyusunan sehingga strategi pemeliharaan alat kesehatan yang diusulkan dapat dirumuskan dengan lebih tajam dan relevan bagi rumah sakit di Indonesia.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- American Hospital Association (2024) 'Americas-Hospitals-and-Health-Systems-Continue-to-Face-Escalating-Operational-Costs-and-Economic-Pressures'.
- Arab-Zozani, M. *et al.* (2021) 'Assessment of medical equipment maintenance management: proposed checklist using Iranian experience', *BioMedical Engineering Online*, 20(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s12938-021-00885-5>.
- Crapanzano, F. *et al.* (2025) 'Evidence based management of medical devices: A follow-up experiment', *Biomedical Signal Processing and Control*, 99. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2024.106867>.
- Fong, B., Fong, A.C.M. and Hong, G.Y. (2022) 'Prognostics-Based Reliability Optimization for Consumer Healthcare

- Devices', *IEEE Access*, 10, pp. 126885–126891. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3226582>.
- Hernández-López, L.A., Pimentel-Aguilar, A.B. and Ortiz-Posadas, M.R. (2020) 'An index to prioritize the preventive maintenance of medical equipment', *Health and Technology*, 10(2), pp. 399–403. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12553-019-00371-y>.
- Iadanza, E. *et al.* (2019) 'Evidence-based medical equipment management: a convenient implementation', *Medical and Biological Engineering and Computing*, 57(10), pp. 2215–2230. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11517-019-02021-x>.
- Lu, Q.P. *et al.* (2024) 'Continuous quality improvement project to reduce the downtime of medical linear accelerators: A case study at Zhejiang Cancer Hospital', *Heliyon*, 10(9). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30668>.
- Ma, S., Flanigan, K.A. and Bergés, M. (2024) 'State-of-the-art review and synthesis: A requirement-based roadmap for standardized predictive maintenance automation using digital twin technologies', *Advanced Engineering Informatics*, 62. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102800>.
- Mahfoud, H., El Barkany, A. and El Biyaali, A. (2016) 'Preventive Maintenance Optimization in Healthcare Domain: Status of Research and Perspective', *Journal of Quality and Reliability Engineering*. Hindawi Publishing Corporation. Available at: <https://doi.org/10.1155/2016/5314312>.
- Mang, B. *et al.* (2023) 'A Medical Equipment Lifecycle Framework to Improve Healthcare Policy and Sustainability', *Challenges*, 14(2), p. 21. Available at: <https://doi.org/10.3390/challe14020021>.
- Omar, I.A. *et al.* (2024) 'Blockchain-based trusted accountability in the maintenance of medical imaging equipment', *Expert Systems with Applications*, 241. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122718>.
- Shamayleh, A., Awad, M. and Farhat, J. (2020) 'IoT Based Predictive Maintenance Management of Medical Equipment', *Journal of Medical Systems*, 44(4). Available at: <https://doi.org/10.1007/s10916-020-1534-8>.
- Ucar, A., Karakose, M. and Kırımça, N. (2024) 'Artificial Intelligence for Predictive Maintenance Applications: Key Components, Trustworthiness, and Future Trends', *Applied Sciences (Switzerland)*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). Available at: <https://doi.org/10.3390/app14020898>.
- Udroiu, C.E.G. and Pleşanu, T. (2020) 'APPROACHES TO MEDICAL EQUIPMENT LIFE CYCLE'. Available at: <https://doi.org/10.12753/2284-9378-20-39>.
- World Health Organization (2011a) *Medical equipment maintenance programme overview WHO Medical device technical series*.

World Health Organization (2011b) 'WHO Computerized Maintenance Management System'.

Zamzam, A.H., Hasikin, K. and Wahab, A.K.A. (2023) 'Integrated failure analysis using machine learning predictive system for smart management of

medical equipment maintenance', *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 125. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106715>.



## **Glosarium**

|                                                   |                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Analytical Hierarchy Process (AHP)                | : Metode pengambilan keputusan yang menggunakan pendekatan hierarki dan perbandingan berpasangan untuk menentukan prioritas dari sejumlah kriteria atau alternatif berdasarkan bobot yang terukur secara objektif. |
| Corrective Maintenance (CM)                       | : Jenis pemeliharaan alat medis yang dilakukan setelah terjadi kerusakan atau kegagalan fungsi, bertujuan mengembalikan kondisi alat ke fungsi normalnya.                                                          |
| Computerized Maintenance Management System (CMMS) | : Sistem manajemen pemeliharaan berbasis komputer yang digunakan untuk mengelola data inventaris aset, penjadwalan pemeliharaan dan dokumentasi guna meningkatkan efisiensi dan integrasi antar unit kerja.        |
| Evidence-Based Maintenance (EBM)                  | : Strategi pemeliharaan berdasarkan analisis data dan bukti empiris (historis kegagalan alat) digunakan untuk menentukan pemeliharaan yang paling efektif dan efisien                                              |
| Lifecycle Management                              | : Pendekatan manajemen yang mencakup seluruh fase siklus hidup alat medis, mulai dari pembelian, instalasi, pemakaian, pemeliharaan, hingga penggantian alat tersebut.                                             |
| Predictive Maintenance                            | : Strategi pemeliharaan yang menggunakan data real-time dan analisis tren kondisi alat untuk memprediksi kapan alat akan mengalami kerusakan.                                                                      |
| Preventive Maintenance (PM)                       | : Pemeliharaan berkala dan terjadwal terhadap alat medis untuk mencegah atau mengurangi kemungkinan kerusakan atau penurunan performa alat                                                                         |
| Prioritisasi Berbasis Kritikalitas                | : Metode yang digunakan untuk menentukan prioritas pemeliharaan alat berdasarkan tingkat kritikalitas atau dampak kegagalan alat terhadap operasional rumah sakit, keselamatan pasien, dan biaya perbaikan.        |
| Reliability-Centered Maintenance                  | : Metode pemeliharaan yang berfokus pada identifikasi fungsi utama alat, potensi kegagalan, serta tindakan yang tepat untuk mencegah kegagalan, guna memastikan keandalan alat secara optimal.                     |
| Standarisasi Alat                                 | : Proses mengurangi variasi tipe dan merek alat medis dalam institusi kesehatan, untuk menyederhanakan proses pemeliharaan, pelatihan dan pengelolaan suku cadang.                                                 |
| Teknologi Prediktif                               | : Teknologi berbasis sensor atau IoT (Internet of Things) yang memungkinkan pemantauan kondisi alat secara real-time guna mendukung predictive maintenance dengan akurasi tinggi.                                  |