



Literature review : Conditional based maintenance in manufacture industry

Yani Koerniawan^{1✉}, Andhika Wahyu²

Prodi Tata Operasi Perakitan Kendaraan Roda 4, Akademi Komunitas Toyota Indonesia, Karawang, Indonesia^(1,2)

DOI: 10.31004/jutin.v7i4.34377

✉ Corresponding author:
[yani@akti.ac.id]

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> Conditional Based Maintenance (CBM); Conditional Monitoring (CM); Perawatan Preventif; Teknik Perawatan Mesin; Petunjuk untuk Pemilihan Parameter</p>	<p>Perkembangan perusahaan manufaktur semakin bbergantung pada kinerja peralatan untuk bersaing. Untuk itu diperlukan peralatan dengan kinerja yang prima dengan perawatan yang tepat. ConditionBased Maintenance (CBM) adalah strategi untuk mencegah kegagalan fungsional atau penurunan kinerja yang signifikan dari peralatan yang dipantau. CBM bergantung pada berbagai sumber daya dan teknik yang diperlukan untuk mendeteksi situasi abnormal atau memprediksi kondisi peralatan produksi di masa mendatang. Penelitian ini berupa studi literatur yang disusun sebagai dasar untuk memilih parameter dan kerangka kerja dalam implementasi CBM. Sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam mengembangkan pedoman dalam implementasi yang relevan.</p>
<p><i>Keywords:</i> Conditional Based Maintenance (CBM); Conditional Monitoring (CM); Preventive Maintenance; Maintenance Techniquet Guideline for selecting Parameters</p>	<p>Abstract</p> <p><i>Manufacturing companies are increasingly dependent on the performance of their equipment to remain competitive. The best performance equipment demands accurate and timely maintenance. ConditionBased Maintenance (CBM) is a strategy to prevent functional failures or a significant performance decrease of the monitored equipment. CBM which relies on a wide range of resources and techniques required to detect abnormal situations or predict the future condition of an asset. This paper will create framework to be a basic of guidlenes for selecting parameters. And emphasize framework with literature reviews. Then develop guidelines based on framework which emphasized by literature review. Finally, examine the guidelines by case studies to evaluate the effectiveness of proposed guidelines.</i></p>

1. INTRODUCTION

Perkembangan teknologi dan informasi berpengaruh pada perkembangan industri [1]. Secara umum proses produksi industri manufaktur menjadi lebih kompleks karena terdiri dari berbagai komponen mesin dan peralatan yang beroperasi secara simultan. Perawatan dipandang menjadi hal yang sangat penting dalam industri manufaktur untuk menghadapi kompetisi yang turut merubah operasional. Perawatan berperan sebagai aktivitas untuk mempertahankan dan meningkatkan ketersediaan, kualitas produk, persyaratan keselamatan, dan tingkat efektivitas biaya pabrik [1].

Saat ini perawatan peralatan lebih penting dan menjadi perbincangan hangat mengingat perkembangan teknologi untuk mengikuti revolusi industri 4.0. Digitalisasi CBM dapat memanfaatkan analisis Big Data dan Internet of Things (IoT) secara realtime (Schreiber, 2006)(Wagner et al. 2016). Penerapannya dengan peralatan mesin yang sudah dilengkapi dengan alat ukur yang tertanam sehingga memungkinkan pengumpulan data pengoperasian dalam jumlah besar dan beragam dalam waktu yang sama [2]. Alat ukur tersebut dibuat

menggunakan sensor atau perangkat pengujian yang memadai. Jika data yang terkumpul dianalisa dengan tepat, maka informasi tentang kondisi peralatan dapat diperoleh dan dimanfaatkan untuk menentukan keputusan dan tindakan pemeliharaan yang akurat dan tepat.

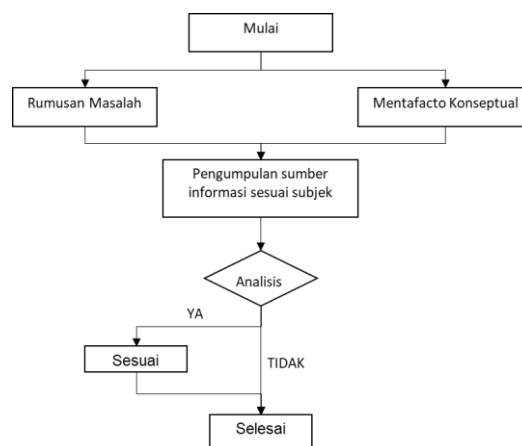
Perusahaan memprediksi perilaku tidak teratur yang dapat mempengaruhi kinerja peralatan, perkakas, dan progres guna mengambil tindakan untuk mencegah kecelakaan dan kerugian ekonomi [1]. Prediksi keadaan masa mendatang dapat dibuat berdasarkan kondisi mesin saat ini dan juga data sejarah pengoperasian mesin. Meskipun demikian, pengamatan terhadap data yang diukur berdasarkan sensor atau alat ukur umumnya tidak dapat disimpulkan secara langsung (Wagner et al. 2016)(Diez-Olivan et al., 2019). Perlu adanya pengolahan data yang dihasilkan untuk menyimpulkan kondisi suatu mesin atau komponen.

Perlu adanya pengolahan data sehingga mampu menggambarkan kondisi saat ini dan memprediksi perilaku masa depan. Proses pengolahan data melibatkan persiaian, transformasi dan pemodelan data asli, mengenai satu atau lebih variabel yang relevan. Untuk tujuan ini, berbagai teori untuk menganalisa data dapat diadopsi dan digabungkan sehingga tujuan untuk penerapan CBM yang efisien dan keberlanjutan dapat tercapai. Strategi proses pemeliharaan yang memadai untuk mengidentifikasi area masalah ada informasi yang relevan melalui proses perolehan, pengelolaan, dan analisis data lebih efektif dan menyajikan data yang diharapkan(Wagner et al. 2016).

Selama beberapa tahun terakhir, penelitian terkait penerapan dan pengelolaan berbasis CBM telah didukung oleh beberapa penulis. Berdasarkan beberapa penelitian hal yang perlu ditekankan adalah pembiayaan CMB yang sangat tinggi dan berpengaruh pada keberhasilan implementasi CBM (Jaramillo et al., 2017) [3]. Hal ini dilatar belakangi kompleksitas yang terlibat dalam kegiatan CBM, sehingga perlu orientasi yang tepat untuk mendukung proses implementasi CBM. Pendekatan perusahaan juga menjadi hal yang berpengaruh dalam implementasi CBM yaitu terhadap peluang keberhasilan. Beberapa tugas yang paling relevan dalam implementasi CBM adalah pemilihan komponen, standar kegagalan, parameter yang dipantau, identifikasi gejala dan penyebab kegagalan, menghubungkan parameter yang dipantau atau indikator kondisi ke mode kegagalan tertentu, proses identifikasi dan pemasangan teknik dan teknologi pengukuran yang tepat untuk perolehan dan transmisi data yang dimonitor, identifikasi frekwensi kondisi bersyarat yang dimonitor, pemilihan metode dan perangkat lunak untuk analisi data kondisi bersyarat yang dimonitor, Peneapan standar sebagai parameter atau indikator kondisi bersyarat yang dimonitor, Mampu mendefinisikan metode dan alat untuk mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan, Melakukan analisis biaya dan manfaat (Diez-Olivan et al., 2019).

2. METHODS

Penelitian ini mengimplementasikan metode review literatur dari Conditional Based Maintenance. Metode ini kerap diimplementasikan pada berbagai bidang penelitian guna memperdalam pengetahuan dengan mengadaptasi konseptual mentefacto. Secara Umum tahapan yang dilakukan adalah perencanaan (identifikasi dan konsep protokol review), pelaksanaan review, dan melakukan laporan. Peneliti mengambil artikel secara acak mengenai conditional based maintenance dan conditional maintenance berjumlah 10 artikel untuk direview. Penelitian ini akan berfokus pada pemilihan parameter yang akan dipantau. Sehingga dapat digunakan sebagai usulan kerangka kerja untuk pengembangan pedoman pemilihan parameter pemeliharaan berbasis kondisi, dan akan diperiksa mealui beberapa studi kasus. Langkah-langkah yang diambil selanjutnya tergambar pada flow berikut:



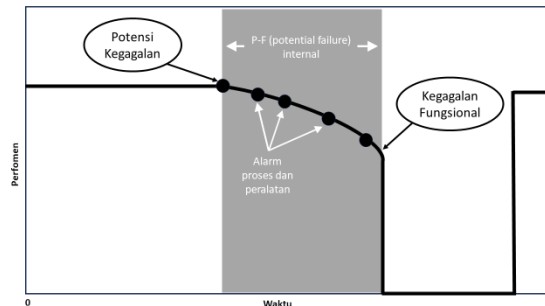
Gambar 1 Alur Penelitian

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Conditional Based Maintenance

Conditional Based Maintenance merupakan salah satu metode preventive maintenance dan sering diklasifikasikan menjadi strategi pemeliharaan mesin. Tujuan utama CBM adalah untuk merekomendasikan keputusan pemeliharaan berdasarkan informasi yang diperoleh melalui kondisi bersyarat yang dimonitor melalui Condition Monitoring (CM) (Lin et al., 2018) [3]. Berdasarkan hal tersebut untuk mengontrol kegagalan ataupun kecelakaan dalam proses produksi dapat direduksi dengan pengambilan keputusan berdasarkan data yang akurat.

CBM bertujuan untuk mengontrol mode kegagalan mesin atau komponen. Sehingga ketika CMB terbentuk dan diimplementasikan secara akurat dapat mengakibatkan kerugian ekonomi. CBM mengandalkan asumsi bahwa sebagian besar kegagalan tidak terjadi secara instan dan kemunculan dapat dideteksi pada tahap awal proses kerusakan. Tantangan utamanya adalah memutuskan tindakan melalui identifikasi dan pemeliharaan yang paling tepat. Berdasarkan gambar grafik PF (*Potensial Failure*) / Potensi Kegagalan berikut menggambarkan sisa waktu pemakaian dan kebermanfaatan komponen dengan pertimbangan masalah tertentu.



Gambar 2 Kurva Potensi Kegagalan

Kurva PF digunakan untuk menggambarkan kinerja atau evolusi dari komponen yang dipantau. Potensi Kegagalan diidentifikasi (P) dan saat-saat kegagalan fungsional atau konsekuensi diverifikasi (F). Kurva PF mengilustrasikan secara umum mengenai keadaan komponen yang berkaitan dengan penuaan komponen, penurunan fungsi, dan kegagalan ketika pemanfaatan dan perawatan mesin normal. Tentu apabila terjadi perubahan pola kerja dan perawatan maka kurva PF juga terjadi perubahan.

Meskipun tujuan CBM untuk melakukan keputusan pemeliharaan yang akurat, CBM tidak mudah dicapai karena lingkungan pengoperasian, struktur internal mesin, dan mekanisme kerja yang berubah dan beresiko menyebabkan kegagalan. Sehingga permodelan probabolistik time to fail harus digunakan sebagai pelengkap metode perbandingan CMB guna meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan. Data CM memberikan informasi untuk prediksi jangka pendek, sedangkan data terkait performance memungkinkan prediksi yang diperpanjang hingga jangka waktu pemeliharaan berikutnya.

3.2. Proses Implementasi

Berdasarkan artikel-artikel yang sudah dapat diketahui bahwa metodologi dan prosedur untuk menerapkan langkah-langkah CBM yang diidentifikasi dalam literatur pada tabel berikut:

Tabel 1 Langkah-langkah CBM

Penulis	Langkah-langkah implementasi CBM atau PHM
(Starr, 2000)	Survei kekritisan; audit pemeliharaan; pilih unit; mencocokkan teknik dengan mode kegagalan; pemantauan rutin; menilai teknik dan menilai efektivitas biaya
(Al-Najjar, 2012)	Mengidentifikasi area masalah; mengidentifikasi komponen penting; mengidentifikasi penyebab kerusakan dan pembangunan; mengidentifikasi sistem CM yang relevan; justifikasi teknis; memilih sistem CM yang paling informatif; memutuskan sistem dan kebijakan pengukuran yang sesuai; menentukan rute pengumpulan data; menentukan tingkat normal, peringatan dan penggantian; analisis data, penyajian hasil analisis; menjadwalkan tindakan pemeliharaan; reparasi untuk melakukan tugas pemeliharaan; menilai kebutuhan sumber daya manusia; menilai dampak teknis dan ekonomi; langkah-langkah untuk menindaklanjuti perubahan kinerja pemeliharaan; mengidentifikasi peran pemeliharaan.

(Rastegari & Bengtsson, 2015)	Studi konsep; mendefinisikan tanggung jawab; pemilihan aset; pemilihan teknik dan teknologi; instalasi; penanganan data; pelatihan; pengukuran dan penetapan data dasar; analisis data; evaluasi; peningkatan.
(Lopez et al., 2014)	Tugas persiapan dan rencana pelaksanaan; penetapan hierarki aset; Analisis RCM terhadap peralatan penting; penugasan sinyal dan metode deteksi untuk mode kegagalan kritis; algoritma untuk mendukung pengambilan keputusan; mentransfer hasil ke rencana pemeliharaan dan indikator bisnis; mengikuti efisiensi dan efektifitas pemeliharaan..
(Hwang et al., 2018)	Merampingkan (memilih komponen penting, mengurutkan, memfilter, dan memprioritaskan data); pemrosesan cerdas (pilih fitur dan alat); sinkronisasi & lihat (pilih visualisasi perangkat keras dan informasi); standarisasi (pilih antarmuka dan konektivitas) dan pertahankan (pilih alat manajemen dan rantai nilai).
ISO 17359, 2003	Analisis manfaat biaya; audit peralatan; audit keandalan dan ereksi; pilih strategi pemeliharaan yang tepat; strategi; akuisisi dan analisis data; menentukan tindakan pemeliharaan; tinjauan.

Pengimplementasian CBM diawali dengan pemilihan komponen yang akan dipantau, diidentifikasi teknik dan teknologi pemantauan, pemasangan sarana teknologi yang diperlukan dan definisi metode analisis data yang tepat. Dari rangkaian proses tersebut diperlukan investasi biaya yang besar (Fedele et al., 2011). Terdapat pengeluaran utama meliputi perolehan alat ukur, perangkat keras dan perangkat lunak, penyediaan pengetahuan dan pelatihan khusus. Sehingga kelayakan dalam implementasi CBM dianalisis dengan pertimbangan perspektif organisasi, keuangan. dari perspektif tersebut menimbang investasi terhadap komponen ataupun mesin secara prioritas terkait kepentingan, karakteristik teknis, dan kompleksitas lingkungan eksternal. Justifikasi ini bergantung pada kemampuan sistem CM dan kebijakan CBM untuk mencaai tujuan strategis perusahaan harus diberikan. Perencanaan CBM yang baik akan berkontribusi meningkatkan kinerja fungsi pemeliharaan secara menyeluruh. Namun, menekankan pemanfaatan CBM akan lebih tinggi ketika CM dilakukan secara terintegrasi di tingkat sistem. CBM melibatkan akuisisi data, pemrosesan data, dan pengambilan keputusan pemeliharaan.

Akuisisi data: Ini melibatkan penangkapan dan penyimpanan data yang terkait dengan variabel yang dapat mencerminkan proses degradasi komponen yang akan dipantau. Untuk setiap variabel, hubungannya dengan mode kegagalan peralatan harus diidentifikasi. Selanjutnya pemilihan alat ukur harus mempertimbangkan sifat variabel yang akan dipantau. CBM memanfaatkan data peristiwa dan data pemantauan. Data kejadian berguna untuk menilai kinerja indikator kondisi dan mendukung tindakan perbaikan atau menyempurnakan indikator yang telah ditetapkan sebelumnya. Secara umum, data peristiwa yang berkaitan dengan aset penting langka atau tidak ada karena kegagalannya harus dihindari. Oleh karena itu, data pemantauan merupakan sumber informasi yang penting. Data ini biasanya diklasifikasikan ke dalam tiga kategori: numerik, gelombang, dan multidimensi. Jika pengumpulan data dilakukan secara terus menerus maka dibutuhkan kapasitas penyimpanan yang lebih besar. Oleh karena itu, disarankan untuk menentukan interval pengumpulan data menurut setiap keadaan tertentu. Selain itu, solusi transmisi data yang paling menguntungkan dalam hal biaya dan keandalan harus diidentifikasi. Pemrosesan data: Bertujuan untuk mengekstrak informasi penting dari data untuk mendukung keputusan pemeliharaan. Pemrosesan data melibatkan pembersihan dan analisis data. Pembersihan data diperlukan karena data seringkali tidak terstruktur dan tidak sempurna. Kesalahan atau ketidaksempurnaan data dapat disebabkan baik oleh kesalahan sensor maupun faktor manusia. Untuk melakukan analisis data, metode dan perangkat lunak yang sesuai harus diidentifikasi, bergantung pada tipe data. Pemrosesan data gelombang dan multidimensi disebut sebagai pemrosesan sinyal. Sedangkan prosedur untuk mengekstraksi informasi yang berguna dari sinyal asli disebut ekstraksi fitur. Fitur yang diekstraksi berdasarkan pemrosesan sinyal dapat direpresentasikan dalam bentuk nilai numerik. Fitur yang diperoleh dapat dihasilkan dari kombinasi fitur lainnya dan harus memberikan representasi yang tepat mengenai kondisi kesehatan sistem. Seringkali satu sensor saja tidak cukup untuk mengumpulkan data guna menganalisis kondisi dengan benar atau memprediksi perilaku suatu benda di masa depan. Dalam hal ini, data yang dikumpulkan oleh sensor yang dipasang di lokasi berbeda harus digabungkan. Prosedur ini disebut sebagai fusi data. Penggabungan data dapat dilakukan pada tiga tingkat berbeda: data asli, fitur, dan tingkat pengambilan keputusan. Pengambilan keputusan pemeliharaan: Diperlukan analisis terperinci atas informasi yang dihasilkan CM untuk memutuskan apakah perlu melakukan intervensi terhadap peralatan, tindakan pemeliharaan mana yang paling tepat (misalnya, inspeksi, perbaikan, penggantian, dll.), dan kapan dan bagaimana pemeliharaan harus dilakukan. Keputusan CBM dapat didukung oleh berbagai macam metode yang memungkinkan untuk memperkirakan kondisi saat ini atau memprediksi RUL komponen tertentu, yaitu metode berbasis data dan model fisik. Analisis kondisi saat ini dan prediksi kondisi masa depan biasanya diwakili oleh konsep diagnostik dan prognostik. Diagnostik dikaitkan dengan deteksi kegagalan, isolasi dan identifikasi (Hashemian & Bean, 2011). Sedangkan prognostik bertujuan untuk memprediksi kegagalan sebelum terjadi, sehingga memungkinkan

penjadwalan intervensi lebih awal. Informasi yang dihasilkan dari diagnosa kegagalan dapat berguna untuk menyempurnakan prognosis dan melakukan perbaikan pada sistem (Hashemian & Bean, 2011). Oleh karena itu, diagnosis harus dilakukan terus menerus untuk mendeteksi kejadian baru dan memperbarui perkiraan prognostik. Namun, memantau perkembangan kegagalan dapat melibatkan parameter yang berbeda dari yang digunakan dalam aktivitas diagnostik. Oleh karena itu, harus ditentukan bagaimana sistem fisik dan parameter yang diamati saling berhubungan. Untuk itu diperlukan pengetahuan atau data tentang perambatan kegagalan dan mekanisme kegagalan.

Beberapa literatur menyebutkan terdapat banyak tantangan dalam implementasi CMB. Hal yang paling berpengaruh terhadap implementasi CBM diantaranya:

1. Memilih komponen, mode kegagalan dan parameter yang akan dipantau;
2. Mengidentifikasi penyebab dan gejala modus kegagalan;
3. Menghubungkan parameter atau indikator kondisi yang dipantau ke mode kegagalan tertentu;
4. Mengidentifikasi dan menerapkan teknik dan teknologi pengukuran yang tepat untuk perolehan dan transmisi data CM;
5. Mendefinisikan frekuensi CM;
6. Memilih metode dan perangkat lunak untuk menganalisis data CM;
7. Menetapkan batas peringatan untuk parameter atau indikator kondisi yang dipantau;
8. Mendefinisikan metode dan alat untuk mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan;
9. Melakukan analisis biaya-manfaat.

Berdasarkan sembilan langkah yang dijalankan terdapat hal yang sangat penting dan menjadi fokus dari pengawasan ketika implementasi CBM

3.3. Metodologi Implementasi CBM

Terdapat 3 tipe dasar pengambilan keputusan yang dapat disusun dalam proses pengolahan data CBM:

1. Menyusun parameter yang akan dipantau
2. Menentukan frekwensi inspeksi
3. Menetapkan batas peringatan dan penggunaan

Pemilihan terkait tipe diatas dipantau bergantung pada faktor seperti fasilitas instalasi yang akan dicakup, ketersediaan teknologi yang dapat diandalkan, investasi dalam instrumentasi dan pelatihan, ketersediaan teknologi surveilans yang dapat diandalkan, investasi dalam instrumentasi dan pelatihan, kebutuhan tenaga kerja dan biaya operasional. Perlu dicatat bahwa kegagalan fungsional yang baru terjadi mungkin menunjukkan beberapa jenis gejala, yang masing-masing gejala dapat terdeteksi pada berbagai tahap degradasi unit. Misalnya, sinyal peringatan awal kegagalan bantalan berupa perubahan karakteristik getaran. Hal ini diikuti dengan peningkatan kandungan partikel dalam sampel minyak pelumas, emisi kebisingan yang dapat didengar, dan panas yang terbentuk pada tutup bantalan. Gejala yang muncul pada keadaan selanjutnya memberikan masa tenggang yang lebih pendek terhadap terjadinya kegagalan fungsional. Semua gejala ini dan teknik pemantauan kondisi yang dapat diterapkan harus dipertimbangkan dalam memilih prosedur CBM yang paling hemat biaya.

Jika kondisi peralatan tidak dipantau secara terus menerus, interval antar inspeksi harus ditentukan, sehingga tindakan dapat diambil tepat waktu untuk mencegah kegagalan fungsional atau meminimalkan konsekuensi dari kegagalan yang tidak dapat dicegah (Hashemian & Bean, 2011) [2] Jika interval ini terlalu pendek, akan terjadi pemeriksaan berlebihan. Jika terlalu lama, maka akan berisiko terjadinya pemadaman yang tidak direncanakan lagi. Pendekatan untuk menetapkan interval inspeksi menghubungkannya dengan kesenjangan waktu T antara saat paling awal ketika gejala kegagalan yang akan datang dapat dideteksi, hingga saat ketika terjadi kegagalan yang sangat besar. Interval inspeksi yang direncanakan ditambah perkiraan waktu persiapan untuk setiap tindakan pencegahan yang diperlukan tidak boleh melebihi setengah dari T . Ketidakpastian yang terkait dengan estimasi T yang ditemukan dalam banyak situasi praktis mempersulit proses pengambilan keputusan. Beberapa model keputusan yang dirancang untuk mengatasi masalah inspeksi jenis ini akan diperkenalkan pada bagian selanjutnya dari artikel ini.

Program pemeliharaan berbasis kondisi dapat menggunakan batas peringatan statis dan dinamis sebagai pemicu tindakan diagnostik dan penggantian. Batas statis adalah ambang batas yang telah dipilih sebelumnya dari data yang diukur. Grafik tingkat keparahan getaran ISO adalah contoh batas statis untuk pemantauan getaran. Meskipun tugas CBM yang dipicu oleh batas statis lebih mudah dilakukan, tugas tersebut tidak memiliki kekuatan diagnostik untuk memprediksi kapan alarm akan berbunyi. Batas dinamis, di sisi lain, digunakan untuk memantau laju perubahan parameter yang diukur. Jika prosedur CBM menggunakan batas peringatan dinamis, maka laju perubahan parameter yang diukur dianggap lebih penting daripada nilai sebenarnya. Jelasnya, penggunaan batas dinamis akan meningkatkan kemampuan diagnostik otomatis dari prosedur CBM.

Sehubungan dengan pemilihan parameter yang akan dipantau, Sebagian besar penelitian di bidang pemeliharaan berbasis kondisi berfokus pada pengembangan teknik yang hanya menggunakan data sensor mesin untuk menilai kondisi mesin – mengabaikan sumber data tambahan. Klasifikasi data umum disajikan oleh (Jardine et al., 2006) (Harte, 2013). Data diklasifikasikan menjadi data pemantauan kondisi dan data kejadian. Yang pertama mencakup data terukur terkait kondisi kesehatan mesin, sedangkan yang kedua mencakup semua informasi tentang kegagalan masa lalu dan riwayat pemeliharaan mesin.

Perbaikan metode yang ada dengan menggabungkan beberapa teknik telah ditangani oleh banyak peneliti (Peng et al., 2010) Selain itu, beberapa peneliti telah menyarankan sumber data lebih lanjut untuk dipertimbangkan dalam pemantauan kondisi, misalnya. kondisi operasi (Li, Zhan & Li, 2014). Namun, gambaran komprehensif tentang kemungkinan sumber data dan teknik telah dipublikasikan. Penelitian di bidang pemeliharaan berbasis kondisi terutama berfokus pada pengembangan metode diagnostik kesalahan dan prognostik. Belum ada makalah yang teridentifikasi yang memberikan presentasi rinci tentang sumber data yang berguna dalam pemeliharaan berbasis kondisi. Namun demikian, beberapa publikasi telah mendefinisikan kelompok data yang berbeda untuk membedakan kelompok-kelompok tersebut sebagai bagian dari pekerjaan mereka.

3.4. Faktor Pendukung dan Penghambat

Berbagai sumber data untuk meningkatkan pemeliharaan berbasis kondisi telah disajikan. Ringkasan sumber data ini disajikan pada Tabel 2. Secara garis besar, data kondisi mesin adalah elemen kunci untuk diagnostik dan prognostik. Meskipun demikian, analisis data sebaiknya tidak hanya berfokus pada karakteristik bagian dalam mesin yang diukur dengan data sensor namun juga mencakup sumber data tambahan seperti yang disajikan.

Dua faktor utama yang mempengaruhi kesehatan alat berat adalah beban kerja pengoperasian dan kecepatan alat berat serta lingkungan produksi. Faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut dalam kasus tertentu dapat berkontribusi secara signifikan terhadap keakuratan teknik prognostik dan diagnostik. Jika data untuk pemeliharaan berbasis kondisi diperoleh untuk beberapa alat berat yang identik, pengetahuan armada juga menyediakan sumber data penting untuk prognostik. Pengetahuan ahli, data master umum, serta riwayat pemeliharaan merupakan sumber data, yang mungkin hanya akan menambah sedikit informasi tambahan, karena sebagian besar sudah ditangkap oleh informasi sensorik, namun dapat memberikan indikator yang baik jika data yang tersedia tidak dapat mengukur kesehatan mesin. dengan tepat.

3.5. Ikhtisar Data untuk CBM

Tabel 2 Ikhtisar Data CBM

Grup Data	Sumber Data
Kondisi Mesin	Karakteristik dalam Mesin
Informasi mesin	Data Master
	Sejarah pengoperasian
	Sejarah pemeliharaan
Faktor Eksternal	Lingkungan Produksi
Pengetahuan pelengkap	Pengetahuan Ahli
	Pengetahuan pengguna

Berdasarkan tabel diatas untuk memastikan kondisi mesin yang dipelajari pengetahuan pelengkap dapat dijadikan pilihan opsional untuk menentukan parameter dari proses monitor (Tsang et al., 2006). Banyak Conditional Maintenance dapat digunakan untuk mengawasi kondisi peralatan melalui beberapa sensor seperti berikut:

Tabel 3 Matriks Parameter Kondisi Peralatan

Peralatan	Vibrasi	Humidity	Ambient Temperature	Ambient Pressure	Accoustic Signal	Thermography	Motor Current	Insulation Resistance	Electrical Capacitance	Electrical Inductance
Pump	Ok		Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok		
Valve		Ok		Ok	Ok					
Motor/Kipas	Ok		Ok		Ok	Ok	Ok	Ok		Ok
Heat Exchanger	Ok	Ok	Ok	Ok						
Sistem Turbin	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok					
Elektik & peralatan elektrik			Ok			Ok		Ok	Ok	Ok
Cables & Connector			Ok			Ok		Ok	Ok	Ok

Pum Seal		Ok		Ok	Ok			Ok		
Piping/ Struktur	Ok				Ok					
Kompresor	Ok				Ok	Ok	Ok			

Perbandingan Pedoman Model terhadap Study Relevan

Table 4 Perbandingan Pedoman Model terhadap Study Relevan (Starr, 2000)

No	Aspek	Studi yang Relevan	GAP
	Jenis Fasilitas (*) terhadap Ikhtisar CMB(-) *Getaran *Akustik * Pelumas *Suhu, fisik *Pertunjukan *Kelembaban *Tekanan sekitar * Arus motor * Resistensi isolasi * Kapasitansi listrik * Induktansi listrik -Informasi terkait EQ -Faktor Eksternal -Sumber tambahan	Survei kekritisan; audit pemeliharaan; pilih unit; rutin pemantauan	Prosedur langkah- langkah umum untuk memandu Implementasi CBM, tidak menyediakan pedoman dalam memilih parameter yang akan dipantau, pemantauan teknik, pemantauan frekuensi dan data metode analisis, dan untuk mengatur peringatan batas.
	Pengawasan dengan memanfaatkan teknologi	Banyak Teknik yang cocok untuk mengatasi mode kegagalan	Tidak Ada Pedoman
	Investasi SDM mengikuti training dan Instrumentasi		
	Ketentuan SDM		Tidak Ada Pedoman
	Budget Operasi	Pengujian efektivitas teknik dan budget	

Table 5 Perbandingan Pedoman Model terhadap Study Relevan (Rastafari dan Bengtsson)

No	Aspek	Studi yang Relevan	GAP
	Jenis Fasilitas (*) terhadap Ikhtisar CMB(-) *Getaran *Akustik * Pelumas *Suhu, fisik *Pertunjukan *Kelembaban *Tekanan sekitar * Arus motor * Resistensi isolasi * Kapasitansi listrik * Induktansi listrik -Informasi terkait EQ -Faktor Eksternal -Sumber tambahan	Seleksi Aset	Sudi ini menjelaskan parameter yang diambil berdasarkan tipe peralatan produksi . Contohnya Vibrasi dan Denyut Kejut pada mode kegagalan bearing. Meskipun demikian belum ada pertimbangan pedoman seleksi parameter yang sistematis berdasarkan gambaran CBM.
	Pengawasan dengan memanfaatkan teknologi	Seleksi Teknik dan Teknologi	
	Investasi SDM mengikuti training dan Instrumentasi	Training	
	Ketentuan SDM	Training	
	Budget Operasi	-	Tidak ada pedoman aspek operasi budget

Table 6 Perbandingan Pedoman Model terhadap Study Relevan (Lee)

No	Aspek	Studi yang Relevan	GAP
	Jenis Fasilitas (*) terhadap Ikhtisar CMB(-) *Getaran *Akustik * Pelumas *Suhu, fisik *Pertunjukan *Kelembaban *Tekanan sekitar * Arus motor * Resistensi isolasi * Kapasitansi listrik * Induktansi listrik -Informasi terkait EQ -Faktor Eksternal -Sumber tambahan	Merampingkan (pilih komponen penting, mengurutkan, memfilter dan memprioritaskan data)	Tulisan ini mengulas berbagai metodologi dan teknik di PHM riset. Sedangkan untuk pemilihan parameter masih mengandalkan kesamaan ukuran dari komponen, untuk contoh Getaran untuk bantalan. Belum pertimbangkan Ikhtisar CBM data, secara sistematis pemilihan parameter pedoman.
	Pengawasan dengan memanfaatkan teknologi	pemrosesan cerdas (pilih fitur dan peralatan); sinkronisasi & lihat (pilih perangkat keras dan informasi visualisasi)	
	Investasi SDM mengikuti training dan Instrumentasi		Belum ada aspek investasi di instrumentasi dan pelatihan
	Ketentuan SDM	-	Belum ada aspek ketentuan SDM
	Budget Operasi	mempertahankan (pilih alat manajemen dan rantai nilai)	-

4. CONCLUSION

Hasil analisis menunjukkan bahwa model pedoman yang diusulkan untuk memilih parameter yang akan dipantau mampu menemukan kesenjangan antara pedoman ideal dan penelitian yang ada. Kesenjangan utama adalah tidak adanya gambaran sumber data CBM ketika mulai menentukan parameter pada aspek pertama mengacu pada pedoman yang diusulkan. Alasan utamanya adalah penelitian-penelitian yang ada masih mengandalkan pengukuran umum suatu komponen, misalnya getaran pada bantalan. Belum mempertimbangkan Ikhtisar data CBM, sebagai pedoman pemilihan parameter sistematis. Untuk menutup kesenjangan yang tersisa, penulis akan mengembangkan makalah berikutnya untuk menunjukkan bagaimana model yang diusulkan bekerja secara sistematis, terutama pada aspek pertama ketika menentukan komponen dan parameter yang akan dipantau, melalui beberapa studi kasus untuk komponen atau peralatan yang berbeda.

5. REFERENCES

A.C. Márquez, *The Maintenance Management Framework: Models and Methods for Complex Systems Maintenance*, First, Springer-Verlag, London, 2007.

Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 135-149.

Al-Najjar, B. (2012). On establishing cost-effective condition-based maintenance: Exemplified for vibration-based maintenance in case companies. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 18(4), 401–416. <https://doi.org/10.1108/13552511211281561>.

Albert H.C. Tsang, *Condition-based maintenance: tools and decision making*, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 1 No. 3, 1995, pp. 3-17. © MCB University Press, 1355-2511.

Carolin Wagner , Philipp Saalman , and Bernd Hellingrath, *An Overview of Useful Data and Analyzing Techniques for Improved Multivariate Diagnostics and Prognostics in Condition-Based Maintenance*, ANNUAL CONFERENCE OF THE PROGNOSTICS AND HEALTH MANAGEMENT SOCIETY 2016,

Diez-Olivan, A., Del Ser, J., Galar, D., & Sierra, B. (2019). Data fusion and machine learning for industrial prognosis: Trends and perspectives towards Industry 4.0. *Information Fusion*, 50, 92–111. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.10.005>.

Fedele, L., Concetti, M., & Mercuri, G. (2011). Methodologies and techniques for advanced maintenance. In *Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5>.

- H. M. Hashemian, Wendell C. Bean, State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 60, NO. 10, OCTOBER 2011.
- Hashemian, H. M., & Bean, W. C. (2011). State-of-the-art predictive maintenance techniques. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60(10), 3480–3492. <https://doi.org/10.1109/TIM.2009.2036347>.
- Humberto Nuno Teixeira, Isabel Lopes, Ana Cristina Braga, Condition-based maintenance implementation: a literature review, 30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021) 15-18 June 2021, Athens, Greece.
- Hwang, H. J., Lee, J. H., Hwang, J. S., & Jun, H. B. (2018). A study of the development of a condition-based maintenance system for an LNG FPSO. *Ocean Engineering*, 164, 604–615. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.07.004>.
- ISO 13374-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation — Part 1: General guidelines, International Standards Organization, Geneva, 2003.
- J. Harte, Introduction, in: Maintenance, Replace. Reliab., Second, CRC Press Taylor & Francis Group, New York, 2013: pp. 1–25
- Jaramillo, V. H., Ottewill, J. R., Dudek, R., Lepiarczyk, D., & Pawlik, P. (2017). Condition monitoring of distributed systems using two-stage Bayesian inference data fusion. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 87, 91–110. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2016.10.004>.
- Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. In *Mechanical Systems and Signal Processing* (Vol. 20, Issue 7, pp. 1483–1510). <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2005.09.012>.
- Jiang, & Renyan. (2013). A multivariate CMB Model with Random and Time-dependent failure Threshold. *Reliability Engineering & System Safety*, 119(2), 178-185. doi:10.106/j.res.2013.06.023
- L. Fedele, Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance, First, Springer-Verlag London Limited, London, 2011.
- Lin, Y., Li, X., & Hu, Y. (2018). Deep diagnostics and prognostics: An integrated hierarchical learning framework in PHM applications. *Applied Soft Computing Journal*, 72, 555–564. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.01.036>.
- Lubis, D. C., & Iskandar, B. P. (2020). A condition-based maintenance policy for a system deteriorating with age and usage. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/1003/1/012108.
- M. Schreiber, J. Klöber-Koch, C. Richter, G. Reinhart, Integrated Production and Maintenance Planning for Cyber-physical Production Systems, Procedia CIRP. 72 (2018) 934–939.
- OpenO&Mtm for Manufacturing Joint Working Group. (2006). Conditional Based Operation for Manufacturing. MIMOSA. Retrieved from https://www.mimosa.org/wp-content/uploads/2004-10-06_Condition_Based_Operations_for_Manufacturing.pdf
- Peng, Y., Dong, M., & Zuo, M. J. (2010). Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: A review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50(1–4), 297–313. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2482-0>.
- Rastegari, A., & Bengtsson, M. (2015, February 9). Implementation of Condition Based Maintenance in manufacturing industry - A pilot case study. *2014 International Conference on Prognostics and Health Management, PHM 2014*. <https://doi.org/10.1109/ICPHM.2014.7036377>.
- Rosmaini Ahmad, Shahrul Kamaruddin, An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application, Computers & Industrial Engineering journal homepage: www.elsevier.com/locate/caie 2012.
- Starr, A. G. (2000). *A STRUCTURED APPROACH TO THE SELECTION OF CONDITION BASED MAINTENANCE*.
- Teixeira, H. N., Lopes, I., & Braga, A. C. (2021). Conditional-based maintenance implementation: Literature review. *30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021)*, 228-233. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.033>
- Torres-Carrion, P. V., Aciar, S., Gonzalez-Gonzales, C., & Rodriguez-Morales, G. (2018). Methodology for Systematic Literature Review applied to Engineering and Education. *IEE Global ENgineering Education Conference (EDUCON)*, 1364-1373. doi:10.1109/EDUCON.2018.8363388.
- Tsang, A. H. C., Yeung, W. K., Jardine, A. K. S., & Leung, B. P. K. (2006). Data management for CBM optimization. In *Journal of Quality in Maintenance Engineering* (Vol. 12, Issue 1, pp. 37–51). <https://doi.org/10.1108/13552510610654529>.
- Wagner, C., Saalman, P., & Hellingrath, B. (2016). *An Overview of Useful Data and Analyzing Techniques for Improved Multivariate Diagnostics and Prognostics in Condition-Based Maintenance*.