

Implimentasi Reliability Centered Maintenance Untuk Mengurangi Downtime Mesin Pada Perusahaan Manufaktur Kertas Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis

Muhammad Helmi Kurniawan^{1,*}, Khusnul Khotimah Ayuningtiyas²

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran Malang, 65145

²Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, UPN Veteran Jawa Timur, 60294

mr.helmi.kurniawan@gmail.com

Diterima: 06 06 2023

Direvisi: 17 07 2023

Disetujui: 27 07 2023

ABSTRAK

PT. XXX merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi kertas dan hasil-hasil produksi kertas terbesar di Indonesia yang terintegrasi secara vertikal. Dalam penelitian ini, akar permasalahan terhadap rendahnya produktifitas penurunan tekanan pada bagian *press cylinder wire machine* akan diidentifikasi, FMEA akan dipakai untuk menentukan tingkat permasalahan yang menghambat produktifitas *press cylinder wire machine*. Metode penelitian yang dilaksanakan, menggunakan metode eksperimen. Langkah awal untuk melakukan perancangan RCM adalah mengetahui mesin yang sering mengalami kegagalan yang didapatkan dengan wawancara pihak perusahaan. Mesin tersebut adalah mesin *press part*, *mesin size press*, mesin *dryer* merupakan mesin yang tercatat sebagai mesin yang sering bermasalah. Mesin beserta komponennya tersebut akan dilakukan perencanaan pemeliharaan menggunakan *reliability centered maintenance* (RCM). Identifikasi setiap kesalahan dan akar penyebab setiap kesalahan keluar dari setiap bagian mesin. Setelah analisis yang cermat dari semua bagian rakitan piston, ditentukan bahwa sebagian besar kegagalan yang ditemui disebabkan oleh penyebab yang tidak disengaja dan tegangan berlebih, kecuali semua *seal* dan *ring* piston. Berdasarkan pemilihan material, desain ulang pelat dorong dudukan jari diusulkan karena perluasan baut jari dorong yang berlebihan disebabkan oleh kelonggaran dan ketidaksejajaran.

Kata kunci: RCM, Mesin Press, Identifikasi, FMEA, Analisis.

ABSTRACT

PT. XXX is one of the largest vertically integrated manufacturing companies that produce paper and paper products in Indonesia. In this study, the root causes of the low pressure drop productivity in the press cylinder wire machine section will be identified, FMEA will be used to determine the level of problems that hinder the productivity of the press cylinder wire machine. The research method carried out, using the experimental method. The first step in designing RCM is to find out which machines often fail, which can be obtained by interviewing the company. These machines are press part machines, size press machines, dryer machines, which are machines that are listed as machines that often have problems. The machine and its components will be planned for maintenance using reliability centered maintenance (RCM). Identify every fault and the root cause of every fault out of every part of the machine. After careful analysis of all parts of the piston assembly, it was determined that most of the failures encountered were due to accidental causes and overvoltages, except for all piston seals and rings. Based on material selection, a redesign of the finger seat push plate was proposed due to the excessive expansion of the push finger bolt caused by looseness and misalignment.

Keywords: RCM, Press Machine, Identification, FMEA, Analysis.

PENDAHULUAN

Tantangan perusahaan adalah meningkatkan produktivitas di luar proses produksi. Oleh karena itu, kelancaran proses produksi merupakan inti dari perusahaan, karena ini menyangkut transformasi aktivitas dari *input* menjadi *output*. Salah satu faktor yang membantu kelancaran proses produksi adalah dengan meningkatkan efisiensi mesin agar selalu optimal, karena pada saat mesin produksi tidak efisien yaitu sering berhentinya mesin saat menjalankan tugasnya (operasi) ke berbagai terjadi kerugian, maka itu diurus. Produksi ini terganggu dan merugikan perusahaan secara umum, baik dari segi operasional maupun kepuasan pelanggan. Tingginya tingkat persaingan antara industri dan perusahaan menyebabkan perjuangan untuk bertahan hidup sangat kuat pabrikan di seluruh dunia mencoba untuk lebih mempersingkat waktu produksi. Kerugian karena waktu produksi akan mempengaruhi biaya, sedangkan pelanggan lebih mementingkan keselamatan dan keandalan produk [1]-[2]. Secara historis, pengujian dan analisis telah digunakan sebagai metode untuk mengukur reliabilitas, itu tidak lagi tersedia. Fokusnya adalah mengantisipasi dan memastikan faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan bahwa faktor-faktor ini sering dicegah dengan struktur yang kuat [3]. Untuk mencapai itu pengurangan biaya operasi ditetapkan sebagai tujuan utama [4]. Penelitian reliabilitas pemeliharaan semua garmen yang diproduksi memainkan peran kunci dalam memastikan kelancaran operasi proses produksi karena menjamin kelangsungan produksi dan kualitas produk [5]. Menurut [6], ada empat jenis FMEA yaitu sistem, desain, proses dan melayani sistem FMEA adalah tingkat analisis sistem tertinggi, yang terdiri dari berbagai *subsistem* desain FMEA yang berfokus pada desain produk. Mengedit FMEA menguji pengoperasian komponen, *subsistem* dan sistem. Kondisi yang memungkinkan dapat muncul berupa kesalahan pemilihan jenis material, kesalahan spesifikasi dan lain-lain. Analisis ini harus dilakukan dari desain asli produk. Menurut [7] melakukan penelitian tentang RCM untuk peralatan berputar melalui prediksi pemeliharaan. Makalah ini mengevaluasi efektivitas strategi pemeliharaan yang ada dengan proposal optimasi. Ini menunjukkan proses RCM untuk studi kasus proses kipas *cat booth*. Makalah tersebut mengungkapkan bahwa implementasi RCM yang sukses di industri mana pun dapat memastikan peningkatan kinerja untuk mendapatkan keunggulan atas pesaing di pasar global. Baru-baru ini, sebuah penilitain [8] melakukan *review* pengembangan alat RCM yang lebih efektif untuk praktik pemeliharaan di sistem pabrik untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi. Beberapa penulis telah menunjukkan kelemahan dari nomor prioritas risiko (RPN) karena mereka menetapkan bahwa RPN tidak dapat menggambarkan secara tepat tingkat keparahan beberapa *mode* kegagalan terutama ketika faktor-faktor tertentu seperti biaya ekonomi dan dampak lingkungan terlibat dalam analisis risiko [9]. Akibatnya, beberapa penulis lain mengintegrasikan bobot penilaian produk *agregat* ke dalam RCM sebagai alternatif untuk memprioritaskan penggunaan RPN [10]. Teknik tersebut dikatakan dapat meningkatkan efektivitas RCM serta dalam pemilihan suatu strategi pemeliharaan yang optimal untuk beberapa aplikasi industri [11]. Melanjutkan penelitian sebelumnya, penelitian ini berusaha mengimplementasikan RCM untuk mesin pembentuk bagian individu (ISM) yaitu digunakan di perusahaan produksi botol kaca. RPN dianggap sebagai opsi terbaik untuk sifat data dikumpulkan untuk penelitian ini karena beberapa alternatif ditemukan memerlukan pengumpulan data pemeliharaan pola yang sedikit berbeda dari konvensional [9]–[11]. Proses FMEA menekankan proses manufaktur atau perakitan yang berfokus pada kualitas produk yang diproduksi. Proses FMEA menguji kemampuan proses yang digunakan untuk membuat komponen, subsistem, dan sistem. Potensi ruang bisa variabilitas proses berupa kesalahan pengguna saat merakit komponen terlalu besar untuk produk jatuh di luar batas spesifikasi yang ditentukan dan faktor lainnya. Terakhir, layanan FMEA bertanggung jawab untuk menganalisis layanan sebelum sampai ke pelanggan. Ada beberapa alasan mengapa kita harus menggunakan FMEA, termasuk fakta bahwa mencegah kegagalan lebih baik daripada memperbaikinya, yang meningkatkan peluang kita untuk mendeteksi kegagalan, mengidentifikasi akar penyebab kegagalan dan menghilangkannya, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan, dan meningkatkan kualitas produk dan proses. FMEA sangat berguna sebagai kegiatan "*Before the Event*". FMEA memiliki keuntungan ketika diterapkan pada operasi bisnis. Keuntungan menerapkan teknik FMEA meliputi: Untuk meningkatkan kualitas, keandalan dan keamanan pr

oduk dan proses. Meningkatkan daya saing penjualan dan kepuasan pelanggan. Mengurangi biaya, waktu tenaga kerja dan potensi risiko kehilangan atau pemborosan. Peringatan dini sebelum masalah dan kesulitan muncul memungkinkan kerja sama tim. Hilangkan masalah yang muncul dan berulang. Dapat digunakan sebagai pintu masuk perencanaan tindakan pencegahan. Gambaran umum item proses RCM secara berurutan dapat dilihat pada gambar 1.

1. Functions	•The desired performance standards of of the system, how well it performs, and under what circumstances
2. Functional Failures	•The various states that the system and equipment fail to meet expectations; this includes both partial and total failures.
3. Failure Modes	•Monitoring conditions causing a functional failure. A failure on similar equipment can be projected to likely same trigger events in another.
4. Failure Effects	•Description of what happens when each failure mode occurs, detailed enough to correctly evaluate the consequences of each
5. Failure Consequences	•The effect, for any deflection from expected function on the safety, environmental, mission, or economics of the system
6. Maintenance Policies	•Applicable, effective and economical plans, to predict, prevent or mitigate failures.
7. Other Logical Actions	•Including, but not limited to, engineering redesigns, run-to-failure, modification to operating procedures and machine feature reconditioning.

Gambar 1. Gambaran Umum Item Proses RCM Secara Berurutan [12]

RCM harus merupakan proses berkelanjutan yang membutuhkan kontinuitas karena diketahui bahwa setiap sistem perawatan terbaik hanya dapat memelihara sistem pada tingkat keandalan dan ketersediaan sistem operasinya [13]. Sistem Pemantauan Kondisi (CMS) adalah bagian integral dari RCM yang meningkatkan produktivitas dan keandalan alat berat seperti yang ditunjukkan dapat dilihat pada gambar 1. Kondisi yang mengarah ke keadaan kegagalan harus diidentifikasi atau diselidiki dengan menggunakan *sensor* seperti akselerometer, enkoder, *sensor arus* atau *torsi*, dan *sensor tekanan* dan suhu [14]. Penelitian ini mengkaji penyebab utama rendahnya produktivitas *pressure drop* bagian *press cylinder wire machine* dan menggunakan FMEA untuk menentukan sejauh mana masalah yang mempengaruhi produktivitas *press cylinder wire machine*. Setelah tingkat masalah ditentukan, peneliti berkonsultasi dengan manajer pabrik untuk menentukan penanggulangan yang dapat meningkatkan produktivitas mesin kawat silinder kompresi. Efektivitas penerapan penanggulangan dapat dilihat dengan membandingkan Nomor Prioritas Sampah (WPN) asli dengan WPN akhir. Penurunan WPN yang tajam menunjukkan bahwa tindakan pencegahan yang diusulkan efektif.

METODE PENELITIAN

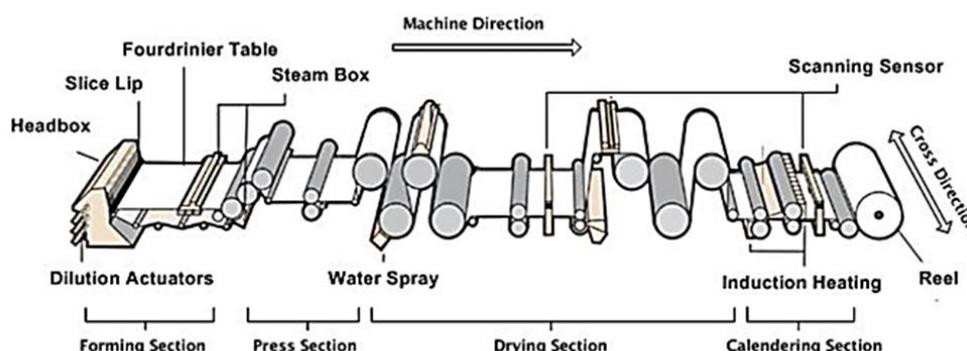
Jenis penelitiannya adalah penelitian kualitatif, penelitian kualitatif disebut juga dengan penelitian naturalistik kualitatif, yang menunjukkan bahwa pelaksanaan penelitian ini bersifat alamiah atau apa adanya dan tidak memanipulasi keadaan serta menitikberatkan pada deskripsi-deskripsi yang alamiah. Peneliti juga menggunakan pendekatan *action research* sebagai tindak lanjut dari penelitian yang dilakukan. Para peneliti terus bekerja untuk memecahkan masalah di pabrik [15]–[17]. Variabel penelitian ini adalah variabel terikat, maka desain penelitian, desain studi kasus adalah metode penelitian sederhana yang berlatar belakang alam dan menitikberatkan secara intensif dan komprehensif pada fenomena untuk mengembangkan model. Metode penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Langkah pertama dalam merencanakan RCM adalah menemukan mesin mana yang sering gagal. Ini dapat ditentukan dengan survei perusahaan. Mesin-mesin tersebut adalah mesin *press*, mesin *full press* dan mesin pengering. Mesin ini terdaftar sebagai mesin dengan masalah umum. Mesin dan komponennya didesain untuk perawatan menggunakan *reliability centered maintenance* (RCM). Langkah selanjutnya adalah membuat *fault tree analysis* (FTA) yang berfungsi. Identifikasi setiap kesalahan dan akar penyebab setiap kesalahan keluar dari setiap bagian mesin. FTA dibuat untuk semua mesin bermasalah secara bersamaan semua komponennya. Berdasarkan kesepakatan perdagangan bebas, maka dibuatlah *failure mode*

dan analisis dampak (FMEA) untuk setiap mesin yang sering mengalami kegagalan produksi. *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) adalah metode untuk mendeteksi dan mencegah masalah yang berkaitan dengan produk dan proses sebelum terjadi [18]. Awalnya, FMEA digunakan untuk memecahkan masalah terkait keselamatan. Saat ini, FMEA digunakan untuk menyelesaikan banyak masalah yang berkaitan dengan peningkatan kualitas, penundaan proyek, dan keandalan [19]. Melalui FMEA diperoleh hasil evaluasi RPN yang digunakan untuk klarifikasi bagian-bagian kritis mesin yang begitu rahasia Kesalahan yang terjadi pada setiap bagian mesin. Penilaian FMEA terdiri dari keparahan, kemunculan dan deteksi. Kejadian ditentukan dengan menggunakan hitungan frekuensi terjadinya jenis kesalahan berdasarkan informasi dari arsip perusahaan selama 1 tahun. Informasi kemudian buat *range* untuk memudahkan dalam menentukan nilai tampilan. Klasifikasi wilayah prevalensi ditentukan berdasarkan frekuensi kesalahan data perusahaan. Untuk menandai hasil RPN dari mengalikan nilai keparahan, kejadian dan deteksi. Nilai RPN digunakan untuk menentukan seberapa kritis suatu komponen dan jenis kegagalannya. Langkah terakhir adalah mencari tahu konsekuensi dari kegagalan berdasarkan empat kategori, yaitu konsekuensi fungsional, konsekuensi non fungsional, konsekuensi cacat tersembunyi dan implikasi keamanan. Berdasarkan mencari tahu konsekuensinya kegagalan, keputusan pemeliharaan RCM dibuat. Keputusan Pemeliharaan RCM berdasarkan 5 jenis konservasi, yaitu. ditujukan pada kondisi, ditujukan untuk memperbaharui waktu Pembaruan, penggantian berjangka waktu, pemecahan masalah, pelumasan. Sehubungan dengan keputusan tersebut pemeliharaan RCM juga termasuk dalam *mean time between failures* (MTBF) bagian mesin yang rusak. MTBF melengkapi keputusan RCM jika jenis kesalahan tidak disertakan dalam keputusan khusus negara bagian memiliki parameter yang ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Overview Of Papermaking Processes

Lembaran kertas datar adalah jaringan yang terdiri dari serat selulosa yang diikat satu sama lain. Mesin kertas mengubah bubur air dan serat selulosa kayu menjadi jenis jaringan ini. Seluruh proses pembuatan kertas dapat dianggap sebagai sistem pembuangan air: konsistensi larutan serat, yang disebut stok oleh pembuat kertas, meningkat dari sekitar 1% di awal mesin kertas (*headbox*) menjadi sekitar 95% di akhir. Secara umum mesin kertas dapat dibagi menjadi empat bagian: bagian pembentuk, bagian tekan, bagian pengeringan, dan bagian calendering. Di bagian pembentuk, aliran stok masuk ke *headbox* untuk didistribusikan secara merata melintasi kain yang terus berjalan yang disebut kawat. Lembaran yang baru terbentuk dibawa oleh kawat di sepanjang meja *fourdrinier*, yang memiliki seperangkat elemen drainase yang mendorong pembuangan air dengan berbagai mekanisme gravitasi dan hisap. Elemen-elemen ini termasuk kotak hisap, gulungan *sofa*, *foil*. Konsistensi padat dari jaring kertas dapat mencapai 20% pada saat jaring meninggalkan bagian pembentuk dan memasuki bagian pers. Gambar mengilustrasikan konfigurasi mesin kertas dapat dilihat pada gambar 2.

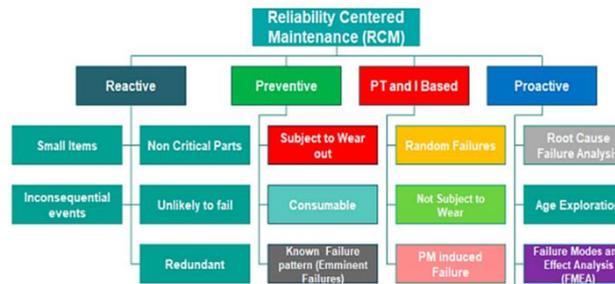


Gambar 2. Konfigurasi Mesin Kertas.

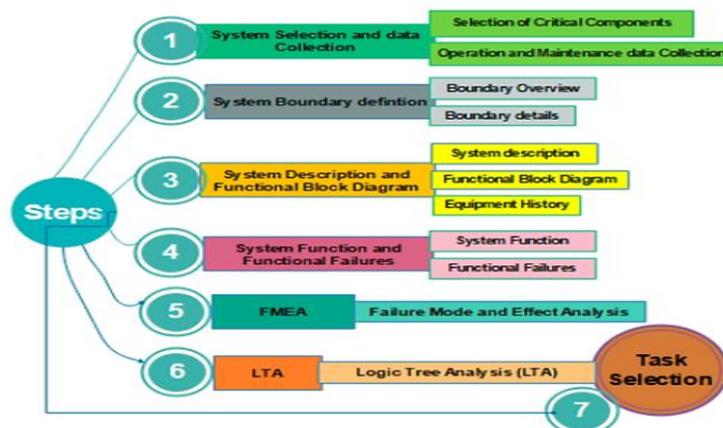
Bagian *roll* tekan dapat dianggap sebagai perpanjangan dari proses penghilangan air yang dimulai pada kawat di bagian pembentuk. Biasanya terdiri dari 1 – 3 *rolling press nips*. Saat jaring kertas melewati *nips* ini, gulungan penekan memeras air keluar dan mengkonsolidasikan formasi jaring pada saat yang bersamaan. Di bagian *pers*, kehalusan permukaan dan kekuatan web ditingkatkan. Saat kekuatan *web* yang lebih tinggi dicapai di bagian tekan, runabilitas yang lebih baik akan diamati di bagian pengeringan atau *driyer roll*. Sebuah mesin kertas biasanya dioperasikan pada kecepatan yang sangat tinggi. Kecepatan mesin tercepat 2.200 meter per menit. Bagian pengeringan meliputi beberapa silinder atau *driyer roll* pengering yang dipanaskan oleh suhu tinggi dan steam bertekanan tinggi. Panas dipindahkan dari *steam* ke permukaan kertas melalui silinder *driyer roll* baja yang berputar ini. Aliran panas meningkatkan suhu permukaan kertas ke titik di mana air mulai menguap dan keluar dari jaring kertas. Bagian pengeringan adalah bagian yang paling banyak memakan energi dalam pembuatan kertas. Sebelum kertas masuk ke bagian pengeringan, konsistensi padatnya sekitar 50%. Setelah bagian pengeringan *driyer roll*, konsistensi dapat mencapai 95%, yang sesuai dengan spesifikasi kelembapan produk jadi.

2) Overview and Review of RCM Related Work.

Seperti banyak alat perencanaan perawatan lainnya, RCM digunakan untuk mempertahankan fungsionalitas produk. RCM bertujuan untuk membatasi kekritisan cacat karena tidak semua cacat dapat dihilangkan [20]. Pertama prioritas RCM adalah keamanan. Dalam kasus di mana keselamatan tidak terganggu, pemeliharaan menjadi prioritas dibenarkan oleh kemampuan untuk melakukan tugas kegunaan dan keandalan, dan kemudian prioritas tertinggi berdasarkan efektivitas biaya [21]. Itu terakumulasi saat menggunakan RCM dalam desain Sistem; status operasional sistem; metode dan praktik pemeliharaan; logistik dan informasi biaya (Analisis) untuk meningkatkan kegunaan sistem. RCM diciptakan untuk integrasi pemeliharaan preventif (PM), uji dan inspeksi proaktif, pemeliharaan reaktif (perbaikan) dan pemeliharaan prediktif untuk meminimalkan biaya pemeliharaan dan dengan demikian meningkatkan waktu henti kemungkinan mesin beroperasi selama masa manfaat yang diharapkan; ini disajikan secara singkat di bawah pada gambar 3 sementara gambar 3 menyoroti diagram alir analisis RCM [22]. Komponen program perawatan yang berpusat pada keandalan (RCM) dapat dilihat pada gambar 3 dan diagram alir untuk analisis RCM dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Komponen Program Perawatan Yang Berpusat Pada Keandalan (RCM).



Gambar 4. Diagram Alir Untuk Analisis RCM [23]

Tabel 1. Perhitungan Mode Kegagalan Dan Analisis Efek (FMEA)

Process Step/Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEVERITY (1 - 10)	Potential Causes	OCCURRENCE (1 - 10)	Current Controls	DETECTION (1 - 10)	RPN
What is the process step or feature under investigation?	In what ways could the step or feature go wrong?	What is the impact on the customer if this failure is not prevented or corrected?		What causes the step or feature to go wrong? (how could it occur?)		What controls exist that either prevent or detect the failure?		
	Internal Leakage	Loss/reduction of output force	6	wear, contaminates past Side loading and piston rod seal	6	Supplier Contract	6	216
	External Leakage	Loss/reduction of output force	4	piston-cylinder ear	5	Supplier Contract	9	180
	leakage from cylinder assembly	In adequate stroke of pusher cylinder	4	O ring failure	8	Supplier Contract	4	128
Hunting Occurs or a decrease in pressure on the cylinder press part of the wire machine	Damaged rod seals	Contaminates entering pusher cylinder between shaft and cylinder	5	Excessive side loading	6	Supplier Contract	7	210
	Piston ring broken and wear	Clearance and play in the assembly	6	fracture, material faults	7	Supplier Contract	6	252
	Plate surface uneven	Leakage	5	Manufacturing error	5	Supplier Contract	4	100
	Wear of piston of the pusher assembly	Clearance and play in the assembly	4	Lubrication, wear out	6	Supplier Contract	5	120

Loss of driving pressure on the cylinder	Excessive vibration, undesirable operation	5	Lubrication, wear out	6	Operator	6	180
------------------------------------------	--------------------------------------------	---	-----------------------	---	----------	---	-----

3) FMEA For The Press Part Cylinder

Menurut tabel 1, RPN tertinggi sebesar 252 disebabkan *clearance and play in the assembly* yang tidak memadai dengan mode kegagalan potensial *ring piston* yang rusak akan menghasilkan efek utama kebocoran internal dan gerakan pendorong yang tidak tepat pada *rod piston* silinder. Analisis RCM yang dilakukan juga menunjukkan pengetatan yang tidak tepat yang menyebabkan *piston ring broken and wear* sebagian besar kegagalan pada silinder pendorong. *Seal rod* yang rusak yang disebabkan *fluida* terkontaminasi saat *fluida* masuk *rod seal* silinder pendorong antara poros dan silinder seperti yang berdampak menyebabkan beban yang berlebihan pada proses kerja sistem, sehingga menimbulkan efek operasi yang tidak tepat dan juga kebocoran eksternal. RPN yang lebih rendah diamati untuk penyebab seperti buruk kontrol dan keausan jari pendorong karena suhu tinggi dan lingkungan kerja, karena kegagalan ini memiliki tingkat kejadian yang sangat rendah dan sangat terdeteksi dalam kasus yang terjadi. Penurunan tekanan pada bagian mesin *cylinder wire machine* dideteksi dengan observasi. Hasilnya kemudian dikonfirmasi dengan mewawancarai perusahaan untuk menentukan akar penyebab RPN dan pemborosan. Sebelum melakukan wawancara dengan informan, peneliti menyusun tabel kriteria skoring untuk setiap penilaian dari 1 sampai 10 untuk indeks keparahan, kejadian dan deteksi sesuai situasi di lapangan. Hal ini harus dilakukan agar hasil penilaian lebih objektif. Tabel 2 Kriteria penilaian *severity* memberikan tabel kriteria skor indeks untuk tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi. Hasil analisis akar penyebab permasalahan dengan memakai akar penyebab tidak produktifnya *press cylinder wire machine* yang teridentifikasi melalui observasi di lapangan dan wawancara. Selanjutnya, beberapa operator menjadi narasumber untuk memberikan penilaian pada *severity, occurrence, dan detection* dari beberapa poin penyebab belum maksimalnya produktifitas *press cylinder wire machine*. Untuk mendapatkan nilai RPN, hasil penilaian indeks *severity, occurrence, dan detection* dari wawancara dengan delapan staf dirata-rata, dikalikan dan dibulatkan ke atas. Selanjutnya RPN dipilah berdasarkan kategori tinggi, sedang dan rendah. Nilai RPN tertinggi didapat sebesar 252 dan terendah sebesar 96. Dengan demikian, tiga klasifikasi yang didapat sebagai berikut: •RPN tinggi : 250–300 •RPN sedang : 100–250 •RPN rendah: 500–100. Kriteria penilaian *severity* terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Penilaian *Severity*

Effect	Criteria: Severity of Effect	Ranking
Berbahaya - Tanpa peringatan	Dapat memaparkan klien pada kerugian, bahaya atau gangguan besar - kegagalan akan terjadi tanpa peringatan	10
Berbahaya - Dengan Peringatan	"Dapat memaparkan klien pada kerugian, bahaya, atau gangguan besar - kegagalan akan terjadi dengan peringatan"	9
Sangat tinggi	Gangguan besar pada layanan yang melibatkan interaksi klien, yang mengakibatkan kerja ulang rekanan atau ketidaknyamanan bagi klien	8
Tinggi	Gangguan kecil pada layanan yang melibatkan interaksi klien dan mengakibatkan kerja ulang rekanan atau ketidaknyamanan bagi klien	7
Sedang	Gangguan besar pada layanan yang tidak melibatkan interaksi klien dan mengakibatkan kerja ulang rekanan atau ketidaknyamanan bagi klien	6
Rendah	Gangguan kecil pada layanan yang tidak melibatkan interaksi klien dan mengakibatkan kerja ulang rekanan atau ketidaknyamanan bagi klien	5
Sangat rendah	Gangguan kecil pada layanan yang melibatkan interaksi klien yang tidak mengakibatkan kerja ulang rekanan atau ketidaknyamanan bagi klien	4

Kecil	Gangguan kecil pada layanan yang tidak melibatkan interaksi klien dan tidak mengakibatkan kerja ulang rekanan atau ketidaknyamanan bagi klien	3
Sangat Kecil	Tidak ada gangguan layanan yang diperhatikan oleh klien dalam kapasitas apa pun dan tidak mengakibatkan kerja ulang rekanan atau ketidaknyamanan bagi klien	2
Tidak ada	Tidak berpengaruh	1

Kemudian diadakan diskusi dengan manajemen perusahaan untuk mencari solusi alternatif (penanggulangan) untuk mengurangi tekanan pada bagian mesin ulir silinder *press* pada level tinggi dan sedang. Diskusi dilakukan mengenai kondisi aktual yang berlaku, kondisi *ideal*, penanggulangan dan perkiraan RPN setelah penanggulangan diterapkan. Tabel 2 menunjukkan akar penyebab, kondisi aktual, kondisi ideal, penanggulangan, RPN awal dan RPN akhir pada level tinggi dan sedang. Skor RPN akhir menurun secara signifikan dibandingkan dengan RPN asli. Oleh karena itu, dengan adanya penanggulangan untuk masing-masing permasalahan tersebut diharapkan dapat meningkatkan produktivitas mesin kawat silinder kompresi, terutama dengan meningkatkan ketersediaan mesin. Kriteria penilaian *detection* terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Penilaian *Detection*

<i>Detection</i>	Kriteria: Kemungkinan adanya cacat akan terdeteksi oleh kontrol proses sebelum proses berikutnya atau selanjutnya, -ATAU- sebelum paparan ke klien	Ranking
Hampir mustahil	Tidak ada kontrol yang diketahui tersedia untuk mendeteksi mode kegagalan	10
Hampir tidak ada	Kemungkinan sangat jauh kontrol saat ini akan melakukannya mendeteksi mode kegagalan	9
Sangat rendah	Kemungkinan jauh kontrol saat ini akan mendeteksi mode kegagalan	8
Cenderung Rendah	Kemungkinan sangat rendah kontrol saat ini akan melakukannya mendeteksi mode kegagalan	7
Sedang	Kontrol arus kemungkinan rendah akan mendeteksi mode kegagalan	6
Rendah	Kemungkinan sedang kontrol saat ini akan mendeteksi mode kegagalan	5
Cenderung Tinggi	Kemungkinan kontrol saat ini cukup tinggi mendeteksi mode kegagalan	4
Tinggi	Kontrol arus kemungkinan besar akan mendeteksi mode kegagalan	3
Sangat Tinggi	Kemungkinan besar kontrol saat ini akan melakukannya mendeteksi mode kegagalan	2
Hampir pasti terdeteksi	Kontrol saat ini hampir pasti untuk mendeteksi mode kegagalan. Kontrol deteksi yang andal sudah dikenal dengan proses yang serupa	1

Dari seluruh penyebab belum maksimalnya produktivitas mesin bagian *press cylinder wire machine* penurunan RPN terbesar terjadi pada permasalahan mengenai aktivitas maintenance and repairing area suction tidak rutin dengan RPN awal 252 dan RPN akhir 96. Problem ini mengalami penurunan RPN yang signifikan karena countermeasure yang disarankan mencakup perbaikan pada aspek *occurrence* dan *detection*, yaitu dengan menerapkan SOP, melakukan penjadwalan dan menentukan *person in-charge*.

KESIMPULAN

Implementasi kegagalan selektif, pemeliharaan preventif, dan pemeliharaan presisi menghasilkan pengurangan biaya kegagalan dan, seiring dengan itu, keandalan unit penggerak yang lebih tinggi. Setelah analisis yang cermat dari semua bagian rakitan piston, ditentukan bahwa sebagian besar kegagalan yang ditemui disebabkan oleh penyebab yang tidak disengaja dan tegangan berlebih, kecuali semua *seal* dan *ring piston*. Penggunaan presisi perawatan mensyaratkan bahwa semua baut dalam rakitan harus dikencangkan dengan torsi pengencangan yang sama persis. Selain itu, penggunaan mur dan baut berkualitas tinggi membantu mengurangi cacat yang disebabkan oleh sekrup yang kendur dan rusak (pemotongan), sehingga mencapai penghematan biaya yang signifikan dari produk yang dihentikan. Hindari menggunakan kembali sebanyak mungkin, tetapi disarankan menggunakan lem. Berdasarkan pemilihan material, desain ulang pelat dorong dudukan jari diusulkan karena perluasan baut jari dorong yang berlebihan disebabkan oleh kelonggaran dan ketidaksejajaran. Penelitian metalurgi harus menghasilkan bahan tahan lama yang menjaga kondisi kerja lebih baik daripada baja karbon. Sebuah studi eksperimental pengerasan kasus dengan perlakuan panas dapat menjadi solusi. Pelumas pada semua rakitan baling-baling harus dipasang kembali dan oli serta poros silinder dibersihkan secara berkala untuk mencegah karbon dan kotoran tersangkut di pelumas *vibration*, analisis tanda tangan saat ini dan pencitraan termal untuk meningkatkan pemecahan masalah awal silinder akselerator, mekanisme akselerator, dan transmisi sangat disarankan [24]–[28]. Biaya penerapan perangkat pemantauan ini dapat dengan mudah dipulihkan dengan mengurangi waktu henti secara signifikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam menyelesaikan penulisan jurnal ini, penulisan banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak baik berupa masukan maupun saran. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dalam penulisan jurnal ini, Jurnal ini masih terdapat beberapa kekurangan di dalamnya, oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak sangat diharapkan, harapan penulis semoga jurnal tentang *implimentasi reliability centered maintenance* untuk mengurangi *downtime* mesin pada perusahaan manufaktur kertas dengan *metode failure mode and effect analysis* dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat menambah ilmu pengetahuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Paprocka, 2019. The model of maintenance planning and production scheduling for maximising robustness. *Int J Prod Res*, vol. 57, no. 14, pp. 4480–4501, doi: 10.1080/00207543.2018.1492752.
- [2] I. Zambon, A. Piergentili, L. Salvati, D. Monarca, P. Matyjas-Łysakowska, and A. Colantoni. 2018. Applied research for a safer future: Exploring recent job accidents in agriculture, Italy (2012-2017), *Processes*, vol. 6, no. 7, doi: 10.3390/pr6070087.
- [3] C. R. Vishnu and V. Regikumar, 2016. Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology*, vol. 25, pp. 1080–1087. doi: 10.1016/j.protcy.2016.08.211.
- [4] L. Swanson. 1997. international journal of production economics ELSEVIER An empirical study of the relationship between production technology and maintenance management. 1997.
- [5] A. U. Adoghe, C. O. Awosope, and S. A. Daramola, 2012. Critical Review of Reliability Centred Maintenance (RCM) for Asset Management in Electric Power Distribution System. *Int. J. Eng. Technol*, vol. 2, pp. 1020–1026.
- [6] D. H. Stamatis, 1995. *Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution*. ASQC Quality Press.
- [7] M. A. Tarar. 2014 Study Reliability Centered Maintenance (RCM) of Rotating Equipment through Predictive Maintenance. in *2nd International conference on Research in Science, Engineering and Technology (ICRSET'2014)*, International Institute of Engineers. doi: 10.15242/ije.e0314595.
- [8] I. Emovon and M. O. Okwu, 2018. Application OF WASPAS in Enhancing Reliability Centered Maintenance For Ship System Maintenance. *Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 1.
- [9] M. Agarwal, G. A. Narayanan, and P. Srivastava, 2018. Risk Prioritization in a Gas Power Plant Using Fuzzy Inference System. in *8th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, Noida, India, pp. 753–757. doi: <https://doi.org/10.1109/CONFLUENCE.2018.8442610>.
- [10] I. Emovon and C. O. Mgbemena. 2018. Machinery/Service system Scheduled Replacement time determination: A

combine Weighted Aggregated Sum Product Assessment, Additive Ratio Assessment and Age Replacement Model approach. *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 169–175. doi: 10.30880/ijie.2018.10.01.025.

- [11] Y. Tang, D. Zhou, and F. T. S. Chan, 2018. AMWRPN: Ambiguity Measure Weighted Risk Priority Number Model for Failure Mode and Effects Analysis," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 27103–27110, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2836139.
- [12] Z. Tao, Y. Chen, C. Wang, and S. Zhang, 2016. Application of Reliability-centered Maintenance Method in Maintenance and Control Optimization in NPPs. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*,
- [13] M. Mohan, O. P. Gandhi, and V. P. Agrawal. 2015. Maintenance strategy for a coal-based steam power plant equipment: a graph theoretic approach," in *Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 218 Part A: J. Power and Energy*, pp. 619–636. doi: <https://doi.org/10.1243/0957650042584366>.
- [14] M. Cocconcelli, L. Capelli, J. C. Camargo Molano, and D. Borghi, 2018. Development of a methodology for condition-based maintenance in a large-scale application field. *Machines*, vol. 6, no. 2, doi: 10.3390/machines6020017.
- [15] J. Malenje, 2014. Challenges facing Business Process Automation in Public Universities in Kenya," *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, vol. 5, no. 4.
- [16] A. Sani, 2017. LIBRARY AUTOMATION MANAGEMENT SYSTEM BASED ON OPEN SOURCE SENAYAN LIBRARY MANAGEMENT SYSTEM (SLIMS) (Case Study of the Library of H. Bata Ilyas STIE Amkop Makassar)/ *Journal of Management & Business*, vol. 1, no. 1, pp. 46–65, 2017, [Online]. Available: <http://www.journal.stieamkop.ac.id/index.php/seiko/article/view/72%0Ahttp://www.journal.stieamkop.ac.id/index.php/seiko/article/download/72/72>
- [17] M. H. Kurniawan, M. Arif, and K. K. Ayuningtyas, 2022. Implementation of Making Monitoring Control System (MOS) Applications to Know Cylinder Repair Codes in Paper Production Areas," *Bulletin of Computer Science and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 97–105, doi: 10.25008/bcsee.v3i2.1165.
- [18] R. E. McDermott, R. J. Mikulak, and M. R. Beauregard, 2009. *The Basics of FMEA*. New York: Taylor & Francis Group, LLC.
- [19] R. V. B. de Souza and L. C. R. Carpinetti, 2014. A FMEA-based approach to prioritize waste reduction in lean implementation," *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 31, no. 4, pp. 346–366. doi: 10.1108/IJQRM-05-2012-0058.
- [20] T. J. Pierpoint, 2001. RCM—The Driver for T&D condition-based maintenance—A utility perspective," in *Proceedings of the 2001 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Atlanta, GA, USA, pp. 957–959.
- [21] N. Sembiring, N. Panjaitan, and A. F. Saragih, 2018. The engine maintenance scheduling by using reliability centered maintenance method and the identification of 5S application in PT. XYZ," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing. doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012127.
- [22] T. R. Ribeiro and F. N. Pinto, 2004. Reability Centered Maintenance (RCM), Gain And Results 3 Years After Implementation. in *Proceedings of IPC 2004 - International Pipeline Conference*, Calgary, Alberta, Canada: ASME International, New York, NY (United States). Pipeline Systems Division
- [23] V. S. Deshpande and J. P. Modak, 2002. Application of RCM to a medium scale industry.
- [24] A. Glowacz, 2018. Fault diagnosis of single-phase induction motor based on acoustic signals. *Mech Syst Signal Process*, vol. 117, pp. 65–80, doi: 10.1016/j.ymssp.2018.07.044.
- [25] A. Glowacz, 2018. Acoustic based fault diagnosis of three-phase induction motor," *Applied Acoustics*, vol. 137, pp. 82–89. doi: 10.1016/j.apacoust.2018.03.010.
- [26] H. Li, T. Liu, X. Wu, and Q. Chen. 2019. Research on bearing fault feature extraction based on singular value decomposition and optimized frequency band entropy. *Mech Syst Signal Process*, vol. 118, pp. 477–502. doi: 10.1016/j.ymssp.2018.08.056.
- [27] W. T. Thomson and I. Culbert, 2017. *Current Signature Analysis for Condition Monitoring of Cage Induction Motors: Industrial Application and Case Histories*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [28] D. K. Martin and J. VanDyke. 1997. Integrating Vibration, Motor Current, and Wear Particle Analysis with Machine Operating State for On-line Machinery Prognostics/Diagnostics Systems (MPROS)," in *Proceedings of the 1997 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, New York, pp. 61–67.