

ANALISIS KERUSAKAN MESIN MANDREL TENSION REEL DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

Dicky Reza¹, Supriyadi², Gina Ramayanti³

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya

Jl. Raya Serang – Cilegon Km. 05 (Taman Drangong), Serang – Banten

E-mail: dickyrezabonk@gmail.com¹, supriyadimti@gmail.com², ginaramayanti@gmail.com³

ABSTRAKS

Divisi Hot Strip Mill pabrik Hot Skin Pass Mill yang merupakan penyumbang pendapatan terbesar. Pada proses produksinya area Tension Reel (TR) memiliki prosentase breakdown tertinggi pada kurun waktu 5 tahun terakhir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa komponen kritis pada area Tension Reel (TR). Penelitian ini menggunakan metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) untuk mengetahui penyebab kegagalan yang terjadi sehingga bisa dilakukan perbaikan. Berdasarkan penyusunan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) komponen kritis Subsistem Mandrel pada Tension Reel (TR) menunjukkan 8 mode kegagalan dari 2 item yang ada pada subsistem mandrel. 8 mode kegagalan tersebut yaitu jamming, tidak kuat menjepit, proses awal menjepit pada keadaan tension, proses memasukan kepala coil kurang sempurna, diameter dalam coil lebih kecil, gaya jepit menurun, berdebu, dan posisi collops kurang maksimal. Dari 8 mode kegagalan tersebut jamming menjadi rank 1 dengan nilai RPN 80. Usulan perbaikan untuk mode kegagalan jamming yaitu memodifikasi langkah kerja pada gripper bar dengan posisi expand maksimal dengan sudut 72⁰ yang sebelumnya lebih dari sudut 90⁰.

Kata Kunci: Breakdown, FMEA, Jamming, Tension Reel.

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri, masalah perawatan fasilitas produksi merupakan salah satu kegiatan penunjang dalam menciptakan produk sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Kegiatan perawatan bertujuan menjaga peralatan produksi agar mampu bekerja sesuai dengan yang ditargetkan atau tidak menurun *performance*. Apabila peralatan mengalami kerusakan akan berakibat pada gagalnya atau tertundanya membuat produk.

Salah satu konsep yang baik untuk merealisasikan hal tersebut adalah pengendalian *Performance Maintenance* mesin. *Performance Maintenance* terdiri dari 3 bagian yaitu *Reliability* dengan menghitung *Mean Time Between Failure* (MTBF), *Maintainability* dengan menghitung *Mean Time To Repair* (MTTR), dan menghitung *Availability mesin*. Pemeliharaan berpusat ketersediaan merupakan proses menentukan fisik aset bisa berfungsi sesuai dengan yang telah direncanakan (Hakim, 2014). Dengan perhitungan ini kita dapat mengukur kehandalan, kesiapan serta usaha pemeliharaan mesin agar menjadi tolak ukur *performance* mesin tersebut.

Konsep Maintenance yang baik harus diiringi dengan metode menganalisa penyebab penurunan *Performance* mesin yang baik pula. Menurut Badariah, Surjasa, & Trinugraha (2012)), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan dikatakan tindakan *before-the event* untuk mengeliminasi dan meminimalisasi kemungkinan kegagalan yang terjadi di masa mendatang. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukannya

yaitu perlu dilakukan pengidentifikasian resiko atau gangguan yang berpeluang untuk timbul pada bagian inbound dan berdasarkan identifikasi resiko yang berhasil ditemukan disetiap tahapan proses serta memprioritaskan resiko yang keluar dengan menggunakan metode Failure mode and effect analysis (FMEA) berdasarkan nilai RPN. Dengan demikian Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) diharapkan dapat mengidentifikasi dan menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan pada proses yang mengalami kegagalan. Hal tersebut sejalan dengan Puspitasari & Martanto (2014) bahwa penggunaan FMEA mampu mengidentifikasi resiko kegagalan yang terjadi selama proses produksi pada pembuatan sarung tenun dengan cara menganalisa moda kegagalan yang menyebabkan cacat produk dengan menggunakan metode FMEA, mendapatkan resiko kegagalan proses produksi terbesar dalam nilai RPN (*Risk Priority Number*), memberikan usulan perbaikan untuk produksi selanjutnya. Hasil dari identifikasi kegagalan dapat menjadi acuan dalam melakukan perbaikan suatu mesin.

Sebuah perusahaan pembuat baja terus berusaha mewujudkan misi untuk bisa bersaing dengan perusahaan baja tingkat dunia. Perusahaan terus melakukan perbaikan, baik dalam hal manajemen, kualitas produksi dan kemampuan mesin. Salah satunya di Divisi Hot Strip Mill yang menyumbang pendapatan besar teradap perusahaan.

Divisi Hot Strip Mill mempunyai lini produksi pendukung yaitu Shearing Line 1, Shearing Line 2, dan Hot Skin Pass Mill. Pada saat ini pabrik Hot Skin Pass Mill merupakan primadona di kalangan

top management, mengingat pentingnya peran Hot Skin Pass Mill untuk kelangsungan perusahaan. Hot Skin Pass Mill berfungsi untuk memperbaiki struktur permukaan coil hasil produksi Hot Strip Mill yang merupakan proses akhir sebelum dikirim ke konsumen. Hot Skin Pass Mill terbagi menjadi 3 area yaitu Pay Off Reel (POR), Mill, dan Tension Reel (TR) yang merupakan area yang saling berkaitan satu dengan yang lain. Salah satu area mengalami masalah maka akan mengganggu kelancaran area yang lain. Kegiatan produksi yang dilakukan selama 24 jam menuntut kehandalan mesin dan kemampuan karyawan yang baik. Kegagalan fungsi.

Tabel 1. Jumlah Jam Gangguan atau Kerusakan Tahun 2012 – 2016

AREA	TAHUN					JUMLAH (JAM)	PROSENTASE
	2012	2013	2014	2015	2016		
POR	1161	540	662	1250	2806	6419	37%
MILL	345	445	205	231	1073	2299	13%
TR	1164	2963	982	755	2570	8434	49%

Berdasarkan tabel 1 diatas menunjukkan bahwa area Tension Reel (TR) memiliki prosentase tertinggi dibandingkan dengan area lainnya dengan prosentase 48 % sedangkan area POR dan MILL sebesar 38 % dan 13 %. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab kerusakan yang terjadi di mesin mandrel dan memberikan saran perbaikan agar kerusakan mesin dapat diminimalisir.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perawatan ialah kegiatan memelihara fasilitas atau mesin dengan cara memperbaiki, pergantian spare part dengan tujuan untuk menjaga proses produksi berjalan sesuai dengan yang diharapkan (Sayuti & Muhammad, 2013). Perawatan mempunyai tujuan untuk memaksimalkan umur mesin, menjaga kelancaran produksi melalui penyesuaian dan pengoperasian peralatan secara tepat, dan meminimalkan frekuensi kegagalan proses produksi (Mustafa, 1998).

Dalam kegiatannya, preventive maintenance terbagi atas routine maintenance, periodic maintenance, dan predictive maintenance (Witonohadi & Timothy, 2011). Routine maintenance merupakan kegiatan perawatan yang telah dilakukan secara rutin, misalnya pembersihan peralatan, pengecekan oli. Periodic maintenance merupakan kegiatan yang dilakukan pada jangka waktu tertentu dengan tujuan untuk meminimalkan kegagalan fasilitas. Predictive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan dalam rangka meminimalkan kegagalan mesin dengan cara memeriksa mesin sesuai dengan jadwal yang telah dijadwalkan. Bentuk pemeliharaan bisa berupa pergantian komponen sesuai dengan yang telah di tentukan

ataupun melakukan pemeriksaan menyeluruh dalam jangka waktu tertentu.

Performance Maintenance merupakan salah satu tool untuk mengetahui kinerja mesin berproduksi. Performance Maintenance terdiri dari reliability, maintainability dan availability. Keandalan mesin dipengaruhi periode waktu penggunaan mesin. bila mesin terus beroperasi maka keandalannya akan menurun (Soesetyo & Bendatu, 2014). Pengukuran reliabilty dapat dilakukan dengan menggunakan Mean Time Between Failure (MTBF). MTBF adalah interval waktu kerusakan dari peralatan selesai diperbaiki sampai peralatan tersebut mengalami kerusakan kembali.

Maintainability merupakan kegiatan untuk melakukan perawatan (pemeliharaan). Alat pengukuran dari maintainability adalah Mean Time To Repair (MTTR). MTTR menunjukkan kemampuan teknisi mesin untuk memperbaiki kerusakan peralatan yang terjadi. Availability merupakan perbandingan waktu proses sebenarnya dengan waktu yang telah ditetapkan.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) adalah salah satu metode untuk mengetahui ranking penyebab kegagalan suatu proses sehingga bisa diperoleh prioritas perbaikan (Supriyadi, Ramayanti, & Afriansyah, 2017). Cara menentukan tingkat prioritas kegagalan mesin dengan menentukan nilai Severity Rating, Occurance Rating, dan Detection Rating sehingga bisa dihitung nilai Risk Priority Number (RPN) untuk komponen mesin dengan tingkat prioritas tertinggi.

Menurut Arabian-Hoseynabadi, Oraee, & Tavner (2010) Severity mengacu pada besarnya efek dari kegagalan sistem. Semakin parah konsekuensinya maka semakin tinggi nilai keparahan yang akan diberikan efeknya. Occurance mengacu pada frekuensi yang menyebabkan Root Cause yang terjadi. Penyebabnya terjadi, dijelaskan secara kualitatif. Detection mengacu pada kemungkinan mendeteksi penyebab pkar sebelumnya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

penelitian ini menggunakan data kuantitatif sebagai dasar pengolahan data. data dipeoleh dari data historis kerusakan mesin Tension Reel (TR) selama tahun 2012 sampai 2016. Data selanjutnya diolah menggunakan MTBR, MTTF dan availability. Penyebab kerusakan dianalisis dengan menggunakan FMEA sehingga di cari alternatif pemecahan masalahnya.

$$MTBF = \frac{\text{Total Operation Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \quad (1)$$

$$MTTF = \frac{\text{Breakdown Time}}{\text{Frekuensi Breakdown}} \quad (2)$$

$$\text{Availability} = \frac{\text{Total Operation Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (3)$$

$$RPN = Saverity \times Occurance \times Detection \quad (4)$$

Tabel 2. Nilai Severity

Rating	Criteria of Severity Effect
10	Tidak berfungsi sama sekali
9	Kehilangan fungsi utama dan menimbulkan peringatan Dapat membahayakan operator mesin
8	Kehilangan fungsi utama Energi listrik tidak dapat dihasilkan
7	Pengurangan fungsi utama Gangguan terhadap line electricity production
6	Kehilangan kenyamanan fungsi pengguna
5	Mengurangi kenyamanan fungsi pengguna
4	Perubahan fungsi dan banyak pekerjaan menyadari adanya masalah
3	Tidak terdapat efek dan pekerjaan menyadari adanya masalah
2	Tidak terdapat efek dan pekerja tidak menyadari adanya masalah
1	Tidak ada efek

Tabel 3. Nilai Occurrence

Rating	Probability of Occurrence
10	Lebih besar dari 50 per jam penggunaan
9	35-50 per 7200 Jam penggunaan
8	31-35 per 7200 Jam Penggunaan
7	26-30 per 7200 Jam Penggunaan
6	21-25 per 7200 Jam penggunaan
5	15-20 per 7200 Jam Penggunaan
4	11-15 per 7200 Jam Penggunaan
3	5-10 per 7200 Jam Penggunaan
2	Lebih kecil dari 5 per 7200 jam penggunaan
1	Tidak pernah sama sekali

Tabel 4. Nilai Detection

Rating	Detection Design Control
10	Tidak mampu terdeteksi
9	Kesempatan yang sangat rendah dan sangat sulit untuk terdeteksi
8	Kesempatan yang sangat rendah dan sulit untuk mendeteksi bentuk penyebab kegagalan
7	Kesempatan yang sangat rendah untuk terdeteksi
6	Kesempatan yang sedang rendah untuk terdeteksi
5	Kesempatan yang sedang untuk terdeteksi
4	Kesempatan yang cukup tinggi untuk terdeteksi
3	Kesempatan yang tinggi untuk terdeteksi
2	Kesempatan yang sangat tinggi untuk terdeteksi
1	Pasti terdeteksi

4. PEMBAHASAN

Perhitungan *Performance Maintenance* Mesin dilakukan dengan menghitung nilai MTBF, MTTR, dan AVAILABILITY pada area HSPM dengan data Total Operation Time 5 tahun terakhir dari tahun 2012-2016. Nilai *Loading* diperoleh dari pengurangan *Total Availability* selama 5 tahun terakhir dengan nilai *Planned Downtime* selama 5 tahun terakhir. Nilai *Total Availability* diperoleh 43200 jam dan nilai *Planned Downtime* diperoleh 1920 jam dengan asumsi rencana perawatan 2 minggu 1 kali selama 2 shift atau sama dengan 16 jam selama 5 tahun terakhir.

Tabel 5. Total Operation Time 5 Tahun Terakhir

Area	Frekuensi Kerusakan	Total Operation Time		Total (Jam)
		Loading	Breakdown	
POR	54	41280	107	41173
MILL	35	41280	38	41242
TR	53	41280	141	41139

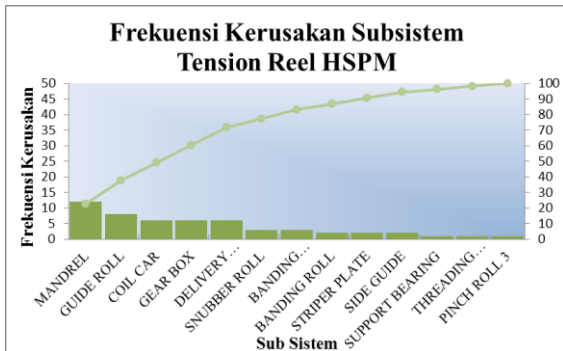
Berdasarkan tabel 5 dapat dihitung nilai MTBF, MTTR, dan Availability. Berdasarkan hasil perhitungan *Performance Maintenance* Mesin pada HSPM, diperoleh nilai MTBF pada area POR memiliki nilai indikator keandalan terendah sebesar 762,46 jam dibandingkan dengan area MILL 1178,33 jam dan area TR 776,22 jam. Tetapi pada area TR memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan area POR dan MILL dilihat dari nilai MTTR sebesar 2,65 jam dan Availability dengan nilai 99,66 %. Hal tersebut dapat mengganggu kelancaran produktifitas karna nilai Availability merupakan ratio untuk melihat kondisi line stop ditinjau dari aspek breakdown. Oleh karna itu pada area *Tension Reel (TR)* perlu dilakukan analisa perawatan dan perbaikan untuk mengurangi frekuensi dan downtime yang terjadi.

Tabel 6. Rekapitulasi Performance Maintenance

Area	MTBF	MTTR	AVAILABILITY
	(Jam)	(Jam)	(%)
POR	762,46	1,98	99,74
MILL	1178,33	1,09	99,91
TR	776,22	2,65	99,66

Pada area *Tension Reel (TR)* banyak sekali kerusakan yang terjadi pada kurun waktu 5 tahun terakhir. Kerusakan sub sistem tersebut memiliki frekuensi kerusakan yang berbeda-beda. Diagram

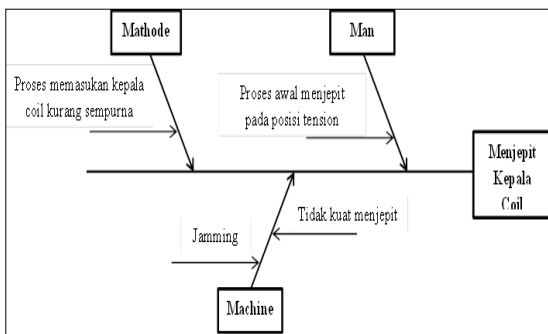
pareto untuk analisa komponen mesin kritis pada subsistem diarea *Tension Reel (TR)* pada pabrik Hot Skin Pass Mill (HSPM) selama 5 tahun terakhir dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Frekuensi Kerusakan Subsistem Tension Reel HSPM

Dari hasil diagram pareto diatas menunjukkan bahwa terdapat 1 komponen kritis yaitu Subsistem Mandrel area *Tension Reel (TR)* dengan frekuensi kerusakan yang tertinggi 12 kali dan downtime selama 2550 menit. Maka dari itu Subsistem Mandrel area *Tension Reel (TR)* menjadi komponen kritis yang akan dilakukan analisa dan perhitungan interval waktu perbaikan.

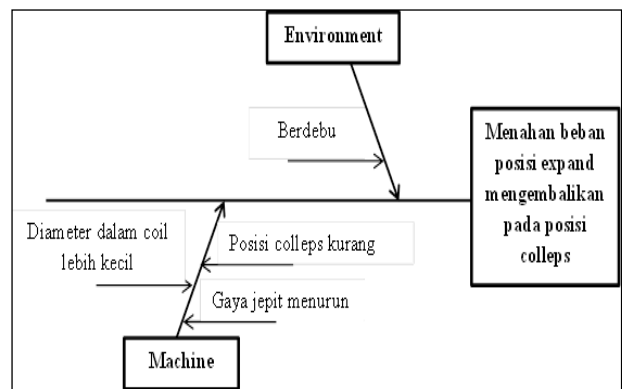
Pada Subsistem Mandrel terdapat 2 item utama yaitu gripper bar dan spring. Kedua item ini memiliki kegagalan dalam proses kerjanya yang dapat menghambat laju produksi. Identifikasi faktor penyebab kegagalan (*Cause Failure*) item *Gripper Bar* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Identifikasi penyebab kegagalan (Cause Failure) gripper bar

Pada Identifikasi penyebab kegagalan (*Cause Failure*) diketahui bahwa terdapat 3 faktor penyebab kegagalan pada gripper bar yaitu dari faktor *Machine, Methode,* dan *Man*. Dari sisi mesin yang utamaadalah terjadinya jamming yang berakibat pada jamminhg tidak dapat kembali ke posisi awal. Gripper bar yang tidak terlalu kuat berefek pada proses penggulungan yang terhambat. Proses awal menjepit pada keadaan tension yang tidak tepat meyebabkan terjadinya jamming. Proses memasukkan kepala coil kurang sempurna yang mengakibatkan kepala strip lepas.

Sedangkan untuk Identifikasi penyebab kegagalan (*Cause Failure*) item Spring dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Identifikasi penyebab kegagalan (Cause Failure) Spring

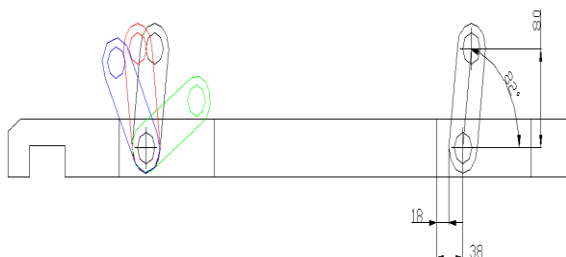
Pada Identifikasi penyebab kegagalan (*Cause Failure*) diketahui bahwa terdapat 2 faktor penyebab kegagalan pada Spring yaitu dari faktor *Machine* dan *Environment*. Diameter coil yang lebih kecil dan posisis colleps kurang berakibat pada coil yang telah digulung susah keluar. Gaya jepit menurun berakibat pada gulungan kepala strip sering lepas. Lingkungan berdebu berakibat fungsi spring terganggu. Mode kegagalan setiap komponen tersebut dijabarkan dalam bentuk tabel FMEA yang disertakan mengenai efek serta penyebab dari mode kegagalan yang terjadi dan dapat dilihat pada tabel 7

Tabel 7. Failure Mode And Effect Analys (FMEA)

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS												
Machine	Mandrel Tension Reel											
Unit	Segment Mandrel Mandrel Tension Reel											
Submit	-											
No	Item Name	function	Functional Failure	Failure Mode	Cause	Failure Effect	S	O	D	RPN	RANK	
1	Gripper Bar	Menjepit kepala strip	Gagal menjepit kepala strip	1	Jamming	Tidak ada pembatas langkah kerja	Tidak dapat kembali keposisi awal	5	4	4	80	1
				2	Tidak kuat menjepit	Permukaan penjepit aus	Proses penggulungan terhambat	4	2	2	16	4
				3	Proses awal menjepit pada keadaan tension	Operator Terburu-buru, kelelahan	Jamming	4	3	2	24	2
				4	Proses memasukan kepala coil kurang sempurna	Posisi menjepit kurang tepat	Kepala strip lepas	3	1	2	6	6
2	Spring	2.1 Menahan beban segment mandrel saat posisi expand	2.1.1 Gagal menahan beban segment mandrel saat posisi expand	1	Diameter dalam coil lebih kecil	kekuatan spring berkurang	Coil setelah digulung sulit untuk keluar	3	2	2	12	5
				2	Gaya jepit menurun	gaya spring kurang maksimal	Gulungan kepala strip sering lepas	3	2	3	18	3
				3	Berdebu	Proses penggulungan menghasilkan debu scale	Fungsi spring terganggu	1	1	1	1	7
		2.2 Mengembalikan posisi segment mandrel pada posisi colleps	2.2.1 Gagal mengembalikan posisi segment mandrel pada posisi normal	4	Posisi colleps kurang maksimal	kekuatan spring berkurang	Coil setelah digulung sulit untuk keluar	3	2	3	18	3

Dari hasil Failure Mode And Effect Analys (FMEA) diatas menunjukkan bahwa terdapat 8 Mode kegagalan dari 2 item yang ada pada subsistem mandrel. 8 mode kegagalan tersebut yaitu *jamming*, tidak kuat menjepit, proses awal menjepit pada keadaan tension, proses memasukan kepala coil kurang sempurna, diameter dalam coil lebih kecil, gaya jepit menurun, berdebu, dan posisi colleps kurang maksimal. Dari 8 mode kegagalan tersebut jamming menjadi rank 1 dengan nilai RPN 80 dan perlu dilakukan perbaikan untuk menghindari kegagalan tersebut.

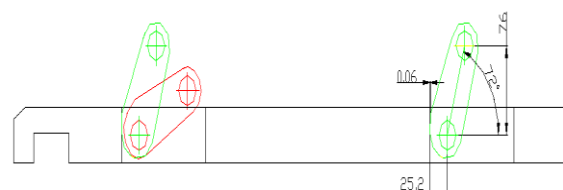
Mode kegagalan jamming pada Gripper bar adalah mode kegagalan yang diakibatkan langkah kerja gripper bar untuk menjepit kepala strip melebihi langkah kerja seharusnya. Langkah kerja gripper bar pada keadaan normal untuk collaps dengan sudut sebesar 30° sedangkan untuk posisi expand maksimal dengan sudut sebesar 82°. Simulasi pergerakan langkah kerja gripper bar dapat dilihat pada gambar 6..



Gambar 6. Simulasi Pergerakan Langkah Gripper Bar

Pada gambar 6. terlihat bahwa langkah simulasi gripper bar yang berwarna hijau merupakan posisi collaps dengan sudut sebesar 30°, langkah simulasi gripper bar yang berwarna hitam merupakan posisi expand keadaan normal dengan sudut sebesar 82°, sedangkan simulasi gripper bar yang berwarna merah dan biru merupakan posisi expand keadaan *jamming* dengan sudut melebihi 90° sehingga gripper bar tidak dapat bergerak keposisi semula untuk menjepit kepala strip. Hal tersebut yang mengakibatkan proses operasi menjadi terhambat dikarenakan breakdown akibat *jamming*.

Berdasarkan simulasi pergerakan langkah gripper bar untuk mode kegagalan jamming diatas, dapat disimpulkan bahwa mode kegagalan jamming diakibatkan langkah gripper bar melebihi sudut 90° dan oleh karna itu usulan perbaikan untuk mode kegagalan *jamming* yaitu memodifikasi langkah kerja pada gripper bar. Cara yang dilakukan yaitu merubah desain gripper bar dengan menambahkan pembatas langkah agar tidak melebihi sudut 90°. Simulasi pergerakan usulan modifikasi langkah kerja gripper bar dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Simulasi Pergerakan Usulan Modifikasi Langkah Gripper Bar

Pada gambar 7 terlihat bahwa simulasi pergerakan usulan modifikasi langkah kerja gripper bar dengan posisi expand maksimal dengan sudut 72° . Hal ini dikarenakan desain gripper bar memiliki pembatas langkah yang membatasi langkah gripper bar tidak melebihi sudut 72° . Oleh karena itu usulan modifikasi langkah gripper bar ini diharapkan dapat menjadi usulan perbaikan untuk menyelesaikan mode kegagalan jamming yang terjadi.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data diperoleh hasil bahwa diperoleh nilai MTBF pada area POR sebesar 762,46 jam, area MILL 1178,33 jam dan area TR 776,22 jam. Untuk nilai MTTR pada area POR sebesar 1,98 jam, area MILL 1,09 jam dan area TR 2,65 jam. Untuk nilai *Availability* pada area POR sebesar 99,74%, area MILL 99,91 % dan area TR 99,66 %. Berdasarkan penyusunan *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) komponen kritis Subsistem Mandrel pada *Tension Reel (TR)* menunjukkan bahwa terdapat 8 Mode kegagalan dari 2 item yang ada pada subsistem mandrel. 8 mode kegagalan tersebut yaitu jamming, tidak kuat menjepit, proses awal menjepit pada keadaan tension, proses memasukan kepala coil kurang sempurna, diameter dalam coil lebih kecil, gaya jepit menurun, berdebu, dan posisi colleps kurang maksimal. Dari 8 mode kegagalan tersebut jamming menjadi rank 1 dengan nilai RPN 80. Usulan perbaikan untuk mode kegagalan *jamming* yaitu memodifikasi langkah kerja pada gripper bar dengan posisi expand maksimal dengan sudut 72° yang sebelumnya lebih dari sudut 90° .

PUSTAKA

- Arabian-Hoseynabadi, H., Oraee, H., & Tavner, P. J. 2010. Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) for Wind Turbines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 32(7), 817–824.
- Badariah, N., Surjasa, D., & Trinugraha, Y. 2012. Analisa Supply Chain Risk Management Berdasarkan Metode Failure Mode Effects Analysis (FMEA). *Jurnal Teknik Industri*, 2(2), 110–118.
- Hakim, L. 2014. Aplikasi Komponen RCM Program Pemeliharaan Pencegahan Sebagai Parameter Ketersediaan dan Tingkat Kegagalan pada Peralatan Pengolahan CPO di Pabrik Kelapa Sawit RSI. *Jurnal APTEK*, 3(1), 23–34.
- Mustafa, A. 1998. *Manajemen Perawatan*. Journal Knowledge Industrial Engineering . Bandung: ITB Press.
- Puspitasari, N. B., & Martanto, A. 2014. Penggunaan FMEA Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin)(Studi Kasus PT. Asaputex Jaya Tegal). *J@ TI UNDIP: JURNAL TEKNIK INDUSTRI*, 9(2), 93–98.

- Sayuti, M., & Muhammad, S. R. 2013. Evaluasi Manajemen Perawatan Mesin Dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance Pada PT. Z. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*, 2(1), 9–13.
- Soesetyo, I., & Bendatu, L. Y. 2014. Penjadwalan Predictive Maintenance dan Biaya Perawatan Mesin Pellet di PT Charoen Pokphand Indonesia-Sepanjang. *Jurnal Titra*, 2(2), 147–154.
- Supriyadi, S., Ramayanti, G., & Afriansyah, R. 2017. Analisis Total Productive Maintenance Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness dan Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis. *SINERGI*, 21(3), 165–172.
- Witonohadi, A., & Timothy, I. 2011. Usulan Perbaikan Sistem Perawatan Mesin dengan Pendekatan Computerized Maintenance Management System (CMMS) di PT. NTP. *Jurnal Teknik Dan Manajemen Industri*, 6(2), 80–86.