

Analisis Keandalan Mesin *Milling CNC* Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis*

Nina Hardiyanti¹, Mokhammad Munir Fahmi², Edward Simanjuntak^{3*}

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia

Email: ¹nina.hardiyanti.pmf20@polban.ac.id, ²fahmimunir@polban.ac.id,

^{3*}edward.simanjuntak@polban.ac.id

(* : edward.simanjuntak@polban.ac.id)

Abstrak – Keandalan mesin pada unit produksi merupakan aspek penting dalam menjamin produktivitas dan efisiensi di berbagai sektor industri. Tujuan Studi ini berfokus pada meningkatkan keandalan. Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menganalisis sebagai upaya untuk peningkatan keandalan mesin. FMEA memberikan pemahaman komprehensif terhadap strategi peningkatan keandalan, dengan memperkuat prediksi keandalan dan strategi perawatan pencegahan. Metode ini juga digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam sistem, mengevaluasi dampaknya, dan merancang strategi perawatan yang efektif. Hasil dan Pembahasan didapat bahwa mesin CNC milling Mazak Variaxis memiliki persentase permasalahan tertinggi, mencapai 40% berdasarkan *downtime* dan frekuensi kejadian pada *cell prismatic*. Berdasarkan analisis FMEA, modus kegagalan utama diidentifikasi melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) dengan nilai tertinggi 126 (peringkat 1), 120 (peringkat 2) dan 105 (peringkat 3). Nilai RPN yang lebih besar dari 87,93 dikategorikan sebagai kegagalan kritis. Komponen ATC (*Automatic Tool Changer*) menduduki posisi kritis dengan persentase faktor permasalahan komponen tertinggi mencapai 129%. Kesimpulan Dengan menggunakan pendekatan empiris, usulan implementasi tindakan sebagai upaya untuk menurunkan angka RPN dan meningkatkan keandalan mesin dengan memprioritaskan permasalahan berdasarkan skala nilai RPN, meningkatkan intensitas preventif pembuatan jadwal perawatan dan pergantian secara berkala serta melakukan perencanaan *stock* suku cadang.

Kata Kunci: Keandalan, FMEA, Mesin CNC, RPN, Perawatan Preventif

Abstract – *Machine reliability in production units is an important aspect in ensuring productivity and efficiency in various industrial sectors. The purpose of this study is to focus on improving reliability. The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method is used to analyze as an effort to improve machine reliability. FMEA provides a comprehensive understanding of reliability improvement strategies by strengthening reliability prediction and preventive maintenance strategies. This method is also used to identify potential failures in the system, evaluate their impact, and design effective maintenance strategies. Results and Discussion showed that the Mazak Variaxis CNC milling machine had the highest percentage of problems, reaching 40% based on downtime and frequency of occurrence in the prismatic cell. Based on the FMEA analysis, the main failure mode was identified through the calculation of the Risk Priority Number (RPN) with the highest values of 126 (rank 1), 120 (rank 2), and 105 (rank 3). RPN values greater than 87.93 are categorized as critical failures. The ATC (Automatic Tool Changer) component occupies a crucial position with the highest percentage of component problem factors, reaching 129%. Conclusion: By using an empirical approach, the proposed implementation of actions as an effort to reduce the RPN number and increase machine reliability by prioritizing problems based on the RPN value scale, increasing the intensity of preventive maintenance scheduling and periodic replacements, and planning spare parts stock.*

Keywords: Reliability, FMEA, CNC Machine, RPN, Preventive Maintenance

1. PENDAHULUAN

Dalam lingkungan industri manufaktur yang terus berkembang dan semakin mengandalkan teknologi CNC (*Computer Numerical Control*) untuk meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas produk yang konsisten (Prianto & Pramono, 2001). Mesin CNC terdiri dari banyak komponen dan sistem yang kompleks. Kegagalan salah satu komponen dapat mengakibatkan *downtime* yang signifikan, biaya perbaikan yang tinggi, dan bahkan kecelakaan kerja yang berdampak merugikan. Sehubungan dengan hal tersebut, keandalan mesin CNC sangat penting untuk menjaga keberlanjutan proses produksi yang lancar (Norina & Silangit, 2018).

PT. XYZ merupakan salah satu pemasok produk kedirgantaraan dan pertahanan terbesar di dunia yang terlibat dalam perancangan, produksi, perawatan sistem, serta komponen untuk pesawat, helikopter dan militer. Badan usaha ini telah menerapkan teknologi CNC serta menerapkan

manajemen sistem perawatan secara berkala terhadap mesin-mesin produksi untuk mencegah terjadinya gangguan proses dan menjaga keandalan mesin. Meskipun perawatan telah berjalan, badan usaha sering kali mengalami permasalahan terhadap mesin atau proses produksi seperti *downtime* yang tidak terduga, kerusakan komponen, serta penurunan produktivitas masih menjadi tantangan yang perlu diatasi. Mesin CNC milling Mazak Variaxis menjadi salah satu mesin yang mengalami *downtime* tertinggi pada *cell prismatic*. Hal ini terjadi karena minimnya pengendalian dalam perawatan, dimana perawatan memainkan peran penting sebagai kunci dalam meningkatkan keandalan mesin untuk dapat mencegah permasalahan yang tidak terduga, mengurangi risiko kegagalan, memperpanjang umur pakai, serta memastikan dan menjaga kinerja sistem secara konsisten dan handal. Sehingga diperlukan analisis permasalahan untuk dapat mengidentifikasi dimana area yang membutuhkan perbaikan atau peningkatan dalam perawatan (Massaguni, 2023).

Salah satu metode yang efektif dalam melakukan analisis permasalahan untuk peningkatan keandalan adalah *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). Metode ini umum digunakan pada industri sebagai alat analisis yang dapat mengidentifikasi komponen kritis, mengetahui akar penyebab masalah, dan merancang perawatan yang tepat untuk meningkatkan keandalan sistem dengan melakukan penilaian RPN (*Risk Priority Number*) untuk mendapatkan prioritas terhadap kegagalan kritis yang perlu segera diatasi untuk mengurangi *downtime*, meningkatkan produktivitas, dan mengoptimalkan waktu kinerja operasional dalam jangka panjang. Oleh karena itu, penelitian dengan judul “Analisis Keandalan Mesin CNC dengan Metode *Failure Mode and Effects Analysis*” sangat relevan dan penting dalam konteks industri manufaktur modern untuk dapat mengharapkan peningkatan keandalan mesin, yang akan berdampak positif pada produktivitas, kualitas, meningkatkan efisiensi dan profitabilitas proses manufaktur secara keseluruhan (Hanif et al., 2015).

I Wayan Sukania, dkk (Sukania & Wijaya, 2023) dalam penelitian Analisis Sistem Perawatan Mesin Produksi Menggunakan Metode FMEA di PT. X Penelitian ini menganalisis mesin pengeleman JK-650PC menggunakan metode FMEA untuk mengetahui komponen kritis dengan nilai RPN > 55,647. Diketahui 4 komponen yang memiliki nilai RPM kritis yaitu *brick*, *conveyor*, *fan belt*, *feeder*. Berdasarkan hasil analisa data dan diskusi diketahui faktor penyebab kerusakan dari faktor manusia, metode, mesin, dan material. Usulan tindakan untuk mencegah kegagalan yaitu dengan pembuatan jadwal perawatan dan penggantian secara berkala.

Satria Buana Marpaung dkk (Marpaung et al., 2021) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa *Risk Priority Number* (RPN) Terhadap Keandalan Komponen Mesin *Thresher* dengan Menggunakan Metode FMEA Di PT.XYZ”. Berdasarkan analisa terdapat 7 gangguan komponen *thresher* yaitu dengan RPN yaitu: *baut stopper drum* sangat longgar sebesar 405, baut pengikat *roller thrashing drum* sangat longgar sebesar 405, *chain* transmisi lepas dari *sprocket* sebesar 320, *stopper drum* goyang sebesar 315, sambungan las besi siku lepas sebesar 280, *chain* transmision longgar sebesar 175, besi siku patah sebesar 175. Diperoleh nilai terendah pada komponen mesin *thresher* terdapat pada komponen *chain* transmision longgar laju perbaikan 0,5 jam dan ketersediaan terendah 0,999737189 Sedangkan ketersediaan tertinggi terdapat pada besi siku patah dengan laju perbaikan 3 jam dan ketersediaan sebesar 0,999605833 berdasarkan hasil analisa ketersediaan (*availability*).

M. Rinoza, Junaidi dkk (Rinoza & Ahmad Kurniawan, 2021) dalam penelitian yang berjudul “Analisa RPN (*Risk Priority Number*) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Kompresor *Double Screw* Menggunakan Metode FMEA di Pabrik Semen PT. XYZ”. Berdasarkan hasil analisa diperoleh perawatan yang digunakan untuk mesin ini yaitu pada komponen *unloader kit* dan *non retur valve* yang memiliki RPN rata rata tertinggi sebesar 84 sedangkan nilai RPN rata-rata terendah komponen dari kompresor *double screw* yaitu pada komponen *oil filter* dan penambahan oli sebesar 30. Ketersediaan (*availability*) dari seluruh komponen kompresor *double screw* diketahui dengan nilai *availability* sebesar 99%.

Berdasarkan karya ilmiah sebelumnya dapat memberikan dasar untuk penelitian ini terkait penggunaan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), penelitian ini juga dibantu dengan penggunaan diagram pareto untuk menampilkan persentase masalah secara visual, diagram *Cause Failure Mode Effect* (CFME) (Syahputri & Nursania, 2021) dalam proses identifikasi akar penyebab masalah dan metode CPS (*Core Problem Solving*) untuk analisis lebih lanjut yang melibatkan penggunaan diagram fishbone. Literasi karya-karya ilmiah sebelumnya, penelitian ini dapat

memperkuat argumen teoritis dan empirisnya, serta memastikan bahwa analisis yang dilakukan relevan. Hal ini juga membantu dalam merumuskan metodologi penelitian yang lebih tepat dan terarah.

Kegiatan riset ini bertujuan untuk mengidentifikasi komponen mesin CNC yang memiliki nilai risiko kegagalan tertinggi menggunakan metode FMEA, menganalisis penyebab dominan dari kegagalan berdasarkan pendekatan fishbone dan memberikan rekomendasi tindakan perbaikan untuk meningkatkan keandalan mesin secara menyeluruh. Harapan bahwa hasil dari kegiatan ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan sistem manajemen pemeliharaan mesin, khususnya dalam konteks industri manufaktur presisi tinggi yang menuntut tingkat reliabilitas dan efisiensi maksimal.

2. METODE

2.1 Tahapan Kegiatan:

- Studi literatur;
- Studi lapangan dan observasi mesin;
- Identifikasi masalah pada *cell prismatic*;
- Pengumpulan data riwayat *downtime* & frekuensi kejadian;
- Perhitungan nilai RPN;
- Analisis akar penyebab (*fishbone*);
- Penyusunan usulan tindakan korektif.

2.2 Data yang Digunakan:

- Primer: observasi fisik, wawancara teknisi, staf operator;
- Sekunder: data *downtime* dan frekuensi *breakdown*, manual perawatan mesin.

2.3 Analisis FMEA:

Berdasarkan hasil persentase masalah mesin *cell prismatic* pada penelitian ini dilakukan proses pengindetifikasian akar penyebab terhadap salah satu mesin *cell prismatic* yang memiliki persentase masalah tertinggi, yang dituangkan dalam sebuah diagram *Cause Failure Mode and Effect* (CFME). Permasalahan atau isu yang terjadi pada mesin tersebut memuat faktor permasalahan komponen yang kemudian dilakukan kategori berdasarkan persentase tertentu, untuk mempermudah dalam analisis FMEA untuk mengetahui tingkat prioritas *failure modes* melalui perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) terhadap data kegagalan, data penyebab kegagalan dan data efek yang ditimbulkan apabila kegagalan terjadi. Proses ini melibatkan identifikasi *failure*, *function failure*, *failure mode*, *failure effect*, perhitungan *severity*, *Occurrence*, dan *detection* yang disesuaikan dengan kriteria standarisasi yang telah ditentukan. Analisis dengan metode FMEA dan penilaian RPN dilakukan untuk mengetahui komponen kritis yang menjadi penyebab utama terjadinya atau tingginya permasalahan pada mesin. Permasalahan kritis memiliki angka nilai RPN tertinggi atau dapat diketahui dari nilai kritis RPN dimana permasalahan kritis memiliki nilai lebih dari nilai kritis RPN. Adapun nilai kritis RPN dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Nilai Kritis RPN} = \frac{\text{Total Nilai RPN}}{\text{Jumlah Failure modes}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisis ini untuk mengetahui akar penyebab dari tingginya tingkat kekritisan komponen yang memiliki tingkat persentasi tertinggi serta pada permasalahan yang memiliki nilai RPN tertinggi, dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan metode CPS (*Core Problem Solving*). CPS merupakan metode yang digunakan untuk mengklarifikasi akar penyebab dari sebuah permasalahan. Metode ini diadopsi oleh Perusahaan untuk memastikan bahwa permasalahan dianalisis untuk mendapatkan solusi tepat sasaran. Proses identifikasi akar penyebab permasalahan dilakukan dengan cara bertanya “mengapa” hingga tidak ada lagi jawaban yang bisa diberikan. Selain itu, penggunaan

diagram sebab akibat atau *fishbone* diagram juga diterapkan untuk membantu mengurai faktor-faktor yang berkontribusi terhadap permasalahan yang menyebabkan suatu karakteristik menyimpang dari spesifikasi yang telah ditetapkan. Diagram ini digunakan untuk mencari semua unsur penyebab yang diduga menimbulkan masalah. Ada lima faktor utama yang perlu diperhatikan untuk mengenali faktor-faktor yang berpengaruh atau berakibat pada permasalahan yang bersumber dari manusia (*man*), metode (*methods*), mesin (*machine*), material (*materials*) dan lingkungan (*environment*).

Metode FMEA ini dapat membantu untuk mengidentifikasi permasalahan pada proses yang diteliti secara jelas dalam menemukan akar penyebab permasalahan, pada akhirnya tindakan yang diambil akan tepat sasaran dengan mengeliminasi setiap akar penyebab terjadinya permasalahan. Acuan yang digunakan dalam perencanaan tindakan yang diusulkan melalui pendekatan analisis yang telah dilakukan dan hasil nilai RPN, yang mencerminkan tingkat keparahan, frekuensi kejadian dan kemampuan untuk deteksi dari bentuk kegagalan potensial yang mempengaruhi produktivitas produksi. Analisa yang telah dilakukan, usulan tindakan yang direncanakan dapat diimplementasikan untuk peningkatan keandalan mesin. Konsistensi dalam menerapkan langkah-langkah ini, diharapkan risiko kegagalan pada komponen kritis dapat berkurang, dan nilai angka RPN dapat turun secara signifikan. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan dan kinerja sistem secara keseluruhan serta mengurangi risiko gangguan proses. Jika strategi ini terbukti efektif dengan tingkat keberhasilan mencapai 80%, maka dapat dipertimbangkan untuk menerapkannya pada mesin CNC milling sejenis.

Setiap potensi kegagalan dianalisis melalui 3 parameter:

- Severity* (S) : Tingkat dampak
- Occurrence* (O) : Frekuensi kejadian
- Detection* (D) : Kemampuan deteksi

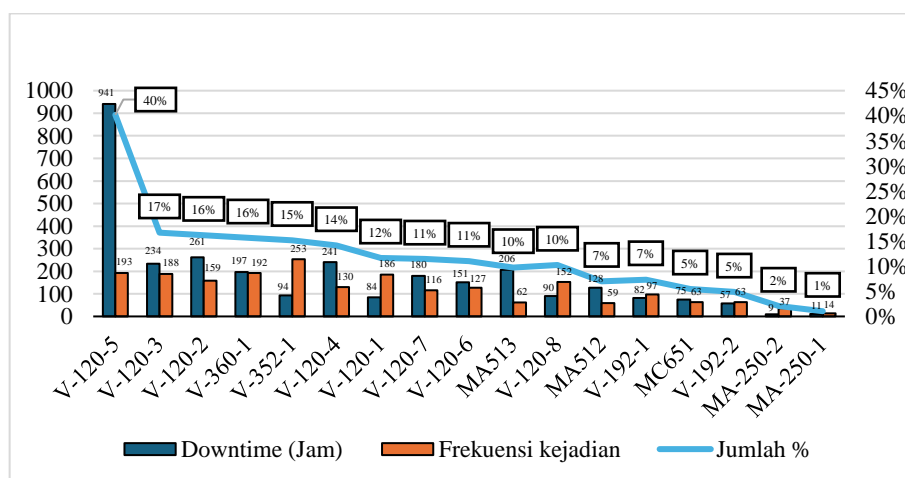
$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (2)$$

RPN \geq 88 dianggap **kritis**.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Persentase Mesin *Cell Prismatic*

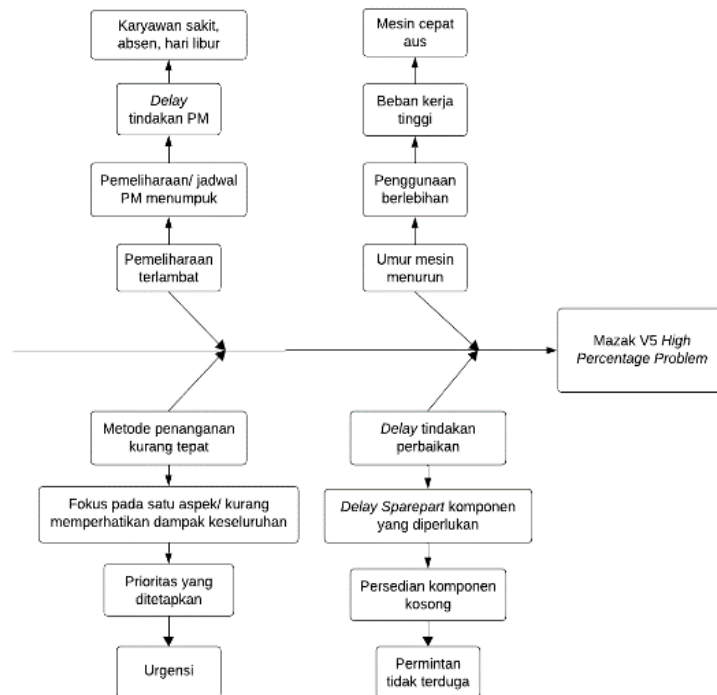
Berikut merupakan diagram pareto yang menunjukkan bahwa mesin CNC milling Mazak Variaxis menduduki permasalahan tertinggi mencapai angka persentase 40% berdasarkan frekuensi kejadian dan *downtime* (Jam) pada mesin dalam waktu satu tahun, mulai dari bulan Maret 2023 s.d Februari 2024. Persentase ini yang memiliki rentang perbedaan yang cukup jauh dari persentase mesin CNC milling yang lain, hal ini dipengaruhi oleh *downtime* yang tinggi.



Gambar 1. Data Mesin *Cell Prismatic*

3.2. Hasil Cause Failure Mode Effect (CFME)

Berdasarkan proses pengindentifikasian akar penyebab mesin CNC milling Mazak Variaxis yang dituangkan dalam sebuah diagram *Cause Failure Mode Effect* (CFME) diperoleh sebagai berikut:



Gambar 2. Cause Failure Mode Effect (CFME)

Dari hasil analisa *Cause Failure Mode Effect* (CFME) dapat dilihat pada diagram bahwa terdapat empat sebab yang mempengaruhi terjadinya persentase permasalahan pada mesin CNC milling Mazak Variaxis tinggi. Faktor waktu tunggu atau *delay* karena menunggu kedatangan suku cadang yang diperlukan menjadi sumber utama terjadinya *downtime* yang tinggi dibandingkan dengan tiga sebab lainnya.

3.3. Hasil Kategori Faktor Permasalahan Komponen

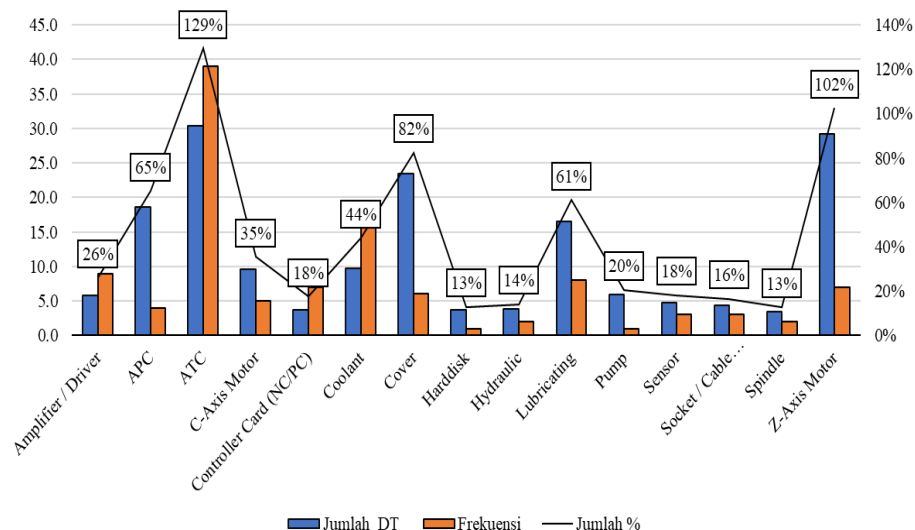
Berikut hasil kategori dari keseluruhan faktor permasalahan komponen dari tabel pada mesin CNC milling Mazak Variaxis ditunjukkan pada Table 1.

Tabel 1. Data Kategori Faktor Permasalahan Komponen

Mazak Variaxis		Downtime/hour				Permasalahan/kejadian		Jumlah (%)
No	Komponen	Breakdown	Shutdown	Jumlah DT	Jumlah DT (%)	Frekwensi	Prosentase (%)	
1	Amplifier / driver	5.85	0	5.85	20	9	6	26
2	APC (Automatic Pallet Changer)	18.67	0	18.67	62	4	3	65

3	ATC (Automatic Tool Changer)	19.17	11.23	30.40	101	39	28	129
4	C Axis Motor	9.55	0	9.5	32	5	4	35
5	Controller Card (NC/PC)	3.75	0	3.8	13	7	5	18
6	Coolant	1.05	8.67	9.7	32	16	12	44
7	Cover	11.05	12.37	23.4	78	6	4	82
8	Hardisk	3.65	0	3.7	12	1	1	13
9	Hydraulic	3.82	0	3.8	13	2	1	14
10	Lubricating	5.20	11.37	16.6	55	8	6	61
11	Pump	5.93	0	5.9	20	1	1	20
12	Sensor	4.55	0.23	4.8	16	3	2	18
13	Socket/Cable C-Axis Motor	4.30	0	4.3	14	3	2	16
14	Spindle	1.10	2.28	3.4	11	2	1	13
15	Z-Axis Motor	9.18	20.03	29.2	97	7	5	102

Tabel diatas merupakan kategori dari 30 faktor permasalahan komponen, 15 komponen ini telah dikategorikan berdasarkan persentase masalah yang melebihi 10% (>10%). Persentase ini ditentukan berdasarkan *downtime* (Jam) dan frekuensi/kejadian pada mesin CNC milling Mazak Variaxis selama satu tahun, dalam rentang waktu 2023-2024 yang divisualisasikan dalam bentuk diagram dibawah.



Gambar 3. Data Faktor Permasalahan Komponen

Berdasarkan diagram faktor permasalahan komponen diatas, menunjukan bahwa dari 15 komponen yang telah dikategorikan, Komponen ATC (*Automatic Tool Changer*) memiliki persentase tertinggi mencapai 129% berdasarkan *downtime* (Jam) dan frekuensi/kejadian. Hal ini menunjukan bahwa permasalahan pada komponen ATC lebih sering terjadi dibandingkan dengan 14 komponen lainnya.

3.4. Hasil *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) dan Penilaian RPN

Hasil penilaian RPN untuk mesin CNC milling Mazak Variaxis diambil dari hasil kategori faktor permasalahan komponen, terdapat 15 dari 30 komponen dengan 117 dari 139 permasalahan secara keseluruhan dalam waktu satu tahun.

Tabel 2. *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) dan Penilaian RPN

RCM INFORMATION WORKSHEET									
Mesin : CNC milling mazak (variaxis 630/120T) / V-120-5									
Fungsi mesin : Produksi Komponen Aileron									
No	Komponen	Function	Function Failure	Failure Mode	Effect of Failure	S	O	D	RPN
1	Amplifier / Driver	Mengontrol dan menggerakkan motor motor yang digunakan untuk menggerakkan sumbu-sumbu mesin CNC	Komponen tidak dapat berjalan untuk mengontrol dan menggerakkan sumbu	Alarm emergency stop	Mesin breakdown, kehilangan kontrol penggerak & produktivitas terhenti	7	5	3	105
2				Alarm system error		8	5	3	120
3				6 kali kejadian alarm servo malfunction		7	6	3	126
4				Monitor rgehunk		7	5	3	105
5	APC (Automatic Pallet Changer)	Pergantian palet kerja secara otomatis	APC tidak dapat berjalan untuk pergantian palet selanjutnya	Alarm APC cover malfunction	Mesin breakdown, kerusakan komponen/mesin & produktivitas terhenti	7	5	3	105
6				Alarm servo malfunction		7	5	3	105
7				Pallet Drop		8	5	3	120
8				Pallet select malfunction		7	5	3	105
9	ATC (Automatic Tool Changer)	Pergantian alat pemotong secara otomatis tanpa intervensi manual	ATC tidak dapat berjalan untuk pergantian tool selanjutnya	Alarm no tool unload	Mesin breakdown, kerusakan komponen/mesin & produktivitas terhenti	6	5	3	90
10				Alarm ATC arm both		6	5	3	90
11				Alarm emergency stop		7	5	3	105
12				3 kali kejadian alarm ATC problem		7	5	3	105
13				ATC cover close malfunction		6	5	3	90
14				No tool unload on shifter		7	5	3	105
15				2 kali kejadian alarm servo malfunction		7	5	3	105
16				Alarm not tool select		7	5	3	105
17				ATC alarm magazine shifter		7	5	3	105
18				No load tool in arm		7	5	3	105
19				2 kali kejadian alarm tool clamp sensor null		7	5	3	105
20				2 kali kejadian alarm ATC		7	5	3	105
21				ATC shifter sp. pros. malf		7	5	3	105
22				Alarm no tool load		7	5	3	105
23				ATC arm 1/2 both off		7	5	3	105
24				6 kali kejadian alarm ATC cover malfunction		7	6	3	126
25				Alarm ATC cover open		7	5	3	105
26				Alarm ATC cover sensor malfunction		7	5	3	105
27				3 kali kejadian cleaning ATC dari gram		5	5	2	50
28				5 kali kejadian mista bersihkan area magazine	Mesin shutdown, produksi tertunda karena kotoran/keabnormalan mesin	5	6	2	60
29				Check clamping force and clean		5	5	2	50
30				Alarm ATC malfunction		6	5	2	60
31				Alarm ATC		6	5	2	60
32	C-Axis Motor	Motor untuk menggerakkan poros C yang mengontrol rotasi benda kerja dalam mesin CNC	Motor tidak dapat menggerakkan poros sumbu C	4 kali kejadian larm emergency stop	Mesin breakdown, perubahan setting & produktivitas terhenti	7	5	3	105
33				Alarm servo malfunction		8	5	3	120
34	Controller Card (NC/PC)	Untuk menginterpretasikan perintah CNC yang diterima dari pengendali	Sistem error tidak dapat menginterpretasikan perintah/berjalan sesuai fungsinya.	7 kali kejadian alarm servo/emergency stop	Mesin breakdown, ketidaksesuaian program & produktivitas terhenti	7	6	3	126
35	Coolant	Sebagai Pendingin dan pelumasan pada proses produksi	Sistem pendinginan tidak sesuai standar atau terjadinya panas berlebih karena aliran tersumbat/ terjadi korosi atau kerusakan komponen karena aliran berlebih.	Alarm system error	Mesin breakdown, panas berlebih & produktivitas terhenti	7	5	3	105
36				3 kali kejadian alarm high pressure unit		6	5	3	90
37				5 kali kejadian alarm high pressure unit	Mesin shutdown, proses terhenti karena kotoran/keabnormalan mesin	5	6	2	60
38				Coolant mekup di konveyor		5	5	2	50
39				Coolant leakage		5	5	2	50
40				Mesin bunyi coolant mekup		5	5	2	50
41				Alarm system error		5	5	2	50
42				Serburan coolant lemah		5	5	2	50
43				Alarm shifter		5	5	2	50
44				Alarm trough coolant		6	5	2	60
45	Cover	Untuk menjaga keamanan, melindungi komponen mesin, dan memastikan kinerja yang optimal.	Penurunan dalam menjaga keamanan, melindungi komponen dan memastikan kinerja yang optimal karena kebocoran/keabnormalan	Suara cover mesin abnormal	Mesin breakdown, kerusakan komponen & produktivitas terhenti	8	5	3	120
46				Cover Y axis bengkok		8	5	3	120
47				Cover pintu utama bocor	Mesin shutdown, proses terhenti karena kotoran/keabnormalan mesin	5	5	2	50
48				Ada bunyi aneh ketika running		6	5	2	60
49				Pintu operator bocor		5	5	2	50
50	Harddisk	Sebagai tempat penyimpanan data dan program yang digunakan untuk mengontrol proses pemotongan	Kehilangan data serta gangguan operasional	Cover pintu pallet change bocor		6	5	2	60
51				Monitor blue screen	Mesin Breakdown, dapat terjadi restart otomatis, kehilangan data & produktivitas terhenti.	7	5	3	105
52	Hydraulic	Untuk memberikan daya/tekanan hidrolik untuk mengoperasikan komponen-komponen mekanis tertentu dalam mesin CNC.	Daya tekanan hidrolik lemah	2 kali kejadian hydraulic unit pressure down	Mesin breakdown,tidak dapat mengoperasikan komponen mekanik & produktivitas terhenti	7	5	3	105
53	Lubricating	Pelumasan untuk mengurangi gesekan dan keausan pada komponen mesin yang bergerak	Pelumasan tidak merata	Slide oil alarm	Mesin breakdown, kerusakan komponen & produktivitas terhenti	8	5	3	120
54				Irregular slidway oil pressure		8	5	3	120
55				2 kali kejadian alarm oil pressure down	Mesin shutdown, proses terhenti karena kotoran/keabnormalan mesin	5	5	2	50
56				Alarm irreguler slide way oil		5	5	2	50
57				Oli hidrolik. blk. cepat turun		6	5	2	60
58				Refill oil hidrolik abnormal		6	5	2	60
59	Pump	Sebagai bagian dari sistem pelumasan yang penting untuk menjaga kinerja, keandalan, dan umur pakai mesin.	Pump tidak dapat memompa pelumas	Oil skinner no run	Mesin breakdown, kerusakan komponen & produktivitas terhenti	6	5	2	60
60				Alarm Emergency stop		8	5	3	120
61	Sensor	Bagian yang membantu dalam pengendalian, pemantauan, dan perlindungan mesin serta proses.	Tidak dapat mendeteksi system	Alarm Slide Oil	Mesin breakdown, kerusakan komponen, perubahan setting & produktivitas terhenti	6	5	3	90
62				Tool holder up sensor malfunction		7	5	3	105
63				Alarm ATC cover malfunction	Mesin shutdown, proses terhenti karena kotoran/keabnormalan mesin	6	5	2	60
64	Socket / Cable C-Axis Motor	Sebagai sistem penggerak sumbu C pada mesin CNC, yang bertanggung jawab untuk mentransfer daya, data, dan sinyal pengendali.	Socket/cable tidak dapat mengendali sinyal untuk menggerakkan sumbu C	3 kali kejadian alarm servo malfunction	Mesin breakdown, perubahan setting & produktivitas terhenti	7	5	3	105
65	Spindle	Komponen kunci yang memegang dan memutar alat pemotong atau material yang akan diproses	Komponen kunci tidak dapat memegang dan memutar dengan baik.	Tool clamp sensor malfunction	Mesin breakdown, perubahan setting & produktivitas terhenti	7	5	3	105
66				Cek collet spindle	Mesin shutdown, pengecaman tidak sesuai standar	6	5	2	60
67	Z-Axis Motor	Sebagai penggerak atau pengendali pergerakan sumbu Z	Sumbu Z tidak dapat bergerak atau digerakkan	3 kali kejadian alarm servo malfunction	Mesin breakdown, kerusakan komponen, perubahan setting & produktivitas terhenti	7	5	3	105
68				Alarm emergency stop		8	5	3	120
69				Cyle time Increase 30%	Mesin shutdown, kerusakan atau keabnormalan komponen	6	5	2	60
70				Sound abnormal when move Z axis		6	5	2	60
71				Suara abnormal when Z axis move		6	5	2	60

Berdasarkan penilaian RPN pada Tabel 2 diatas dapat diketahui bahwa 3 RPN tertinggi adalah sebagai berikut: peringkat 1 dengan nilai sebesar 126, peringkat 2 dengan nilai sebesar 120 dan peringkat 3 dengan nilai sebesar 105.

3.5. Hasil Nilai Kritis RPN

Berdasarkan penilaian RPN yang ditentukan dengan persamaan didapatkan nilai kritis RPN sebagai berikut:

Nilai Kritis RPN = Total Nilai RPN Jumlah *Failure Modes*

Nilai Kritis RPN = $6243 \div 71 = 87,93 \approx 88$

Hasil dari nilai kritis ini menunjukan *Failure modes* yang dikategorikan sebagai kegagalan kritis adalah *failure modes* yang memiliki nilai RPN lebih dari 87,93 ($>87,93$). Dimana dari total 117 permasalahan dari 15 komponen, terdapat 75 permasalahan yang memiliki penilaian RPN lebih dari 87,93.

3.6. Hasil Core Problem Solving

Hasil analisis yang dilakukan lebih lanjut menggunakan metode CPS (*Core Problem Solving*) terhadap permasalahan “*alarm ATC cover malfunction*” dengan nilai RPN tertinggi sebesar 126, pada faktor permasalahan komponen ATC (*Automatic Tool Changer*) yang memiliki persentase tertinggi mencapai 129%, dapat dilihat sebagai berikut:

1. a) Rumusan masalah Proses perubahan alat potong (*tool*) otomatis pada mesin CNC *milling* Mazak Variaxis tidak berfungsi dengan baik. Masalah utamanya adalah *alarm ATC cover malfunction*

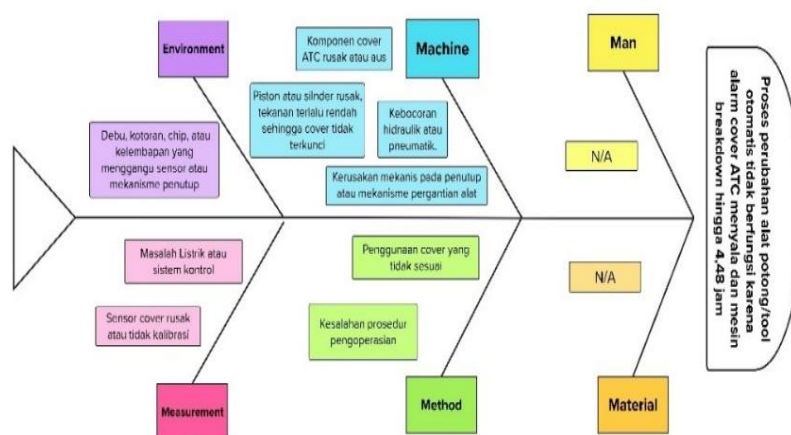
1. b) Dampak masalah Mesin CNC *milling* Mazak Variaxis *breakdown* selama 4,48 jam dari 6 kali kejadian.

Kondisi standar Tidak ada alarm Kondisi sebenarnya *Alarm ATC cover* menyala

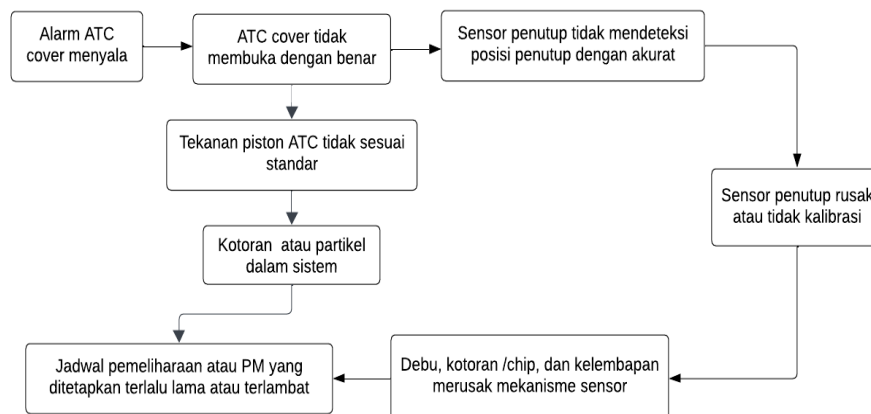
2. b) Revisi rumusan masalah

Proses perubahan tool otomatis pada pada mesin CNC *milling* Mazak Variaxis tidak berfungsi karena alarm ATC cover menyala dan mesin *breakdown* hingga 4,48 jam dari 6 kali kejadian

2. c) Tindakan Penanggulangan yang dilakukan dengan *Investigation -Adjust sensor ATC cover, trial open & close,ok*. Selanjutnya *Investigation -Setting pressure piston ATC*. Lanjut ke tahap selanjutnya *Investigation -Recovery ATC*. Lakukan *Investigation - Adjust air pressure for open close ATC - Trial tool change = ok*". Lakukan *Investigasi - Recovery ATC shifter* dan *Investigasi - Adjust sensor ATC cover open - Trial tool change oke*



Gambar 4. Investigasi dan Hubungan Sebab Akibat

**Gambar 5. Akar Penyebab**

3.c) Akar Penyebab

Karena waktu jadwal PM yang ditetapkan terlalu lama atau terlambat

4.a) Identifikasi opsi tindakan perbaikan yang potensial 2. Periksa sensor pendeteksi dan *switch cover APC* berfungsi dengan baik 3. Periksa kondisi dan bersihkan *cover ATC*. 4. Periksa sistem hidrolik atau pneumatik 5. Periksa kabel, konektor dan *system control ATC* 6. Pergantian sensor rusak 7. Pemantauan sistem *control*.

4.b) Daftar Tindakan Perbaikan Permanen 1. Meningkatkan jadwal perawatan rutin dan pemeriksaan berkala 2. Kalibrasi sensor secara rutin untuk menjaga akurasi deteksi 3. Peningkatan sistem kontrol untuk memastikan deteksi posisi akurat dan responsif. 4. Monitoring kondisi mesin

4.c) Refleksi/Transfer Pengetahuan: Dengan pendekatan ini, dapat disimpulkan bahwa alarm ATC ini disebabkan oleh beberapa faktor utama, termasuk kurangnya perawatan dan pembersihan yang rutin. Selain itu, bertambahnya usia pakai mesin juga mempengaruhi frekuensi masalah, sehingga intensitas preventifnya juga perlu ditingkatkan.

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada bagian *cell prismatic*, mesin CNC *milling Mazak Variaxis* memiliki persentase permasalahan tertinggi selama periode 2023-2024, tingginya permasalahan yang terjadi menyebabkan proses produksi terhenti. Hal ini mempengaruhi target produk, produktivitas dan memungkinkan terjadinya kerugian. Pada mesin ini terlibat 30 faktor permasalahan komponen, dimana 15 diantaranya mengalami permasalahan secara berulang dan memiliki nilai RPN kritis. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan nilai kritis RPN didapatkan nilai sebesar 87,93 yang berarti komponen atau permasalahan kritis memiliki nilai RPN lebih besar dari 87,93 ($>87,93$). Dengan itu sesuai dengan tabel perhitungan RPN terdapat 117 permasalahan dari 139 permasalahan, hal ini menunjukkan bahwa sekitar 84% dari total permasalahan yang terjadi tergolong sebagai kritis. Situasi ini pada sistem menunjukkan tingkat keandalan mesin atau komponen mesin yang semakin menurun, yang dapat mengakibatkan terhentinya sistem pada mesin dan mempengaruhi kapasitas *output* produksi. Sehingga perlu diprioritaskan dan diberikan perhatian lebih untuk mengurangi risiko dan mencegah permasalahan berulang serta untuk *action planning for failure moded* untuk mengurangi RPN (*Risk Priority Number*) dalam meningkatkan keandalan serta produktivitas mesin CNC *milling Mazak Variaxis*. Beberapa usulan tindakan perencanaan untuk menurunkan nilai RPN pada komponen kritis meliputi:

1. Melakukan atau mengimplementasikan sistem pemantauan kondisi yang terhubung dengan sensor untuk komponen kritis serta mengawasi parameter kunci seperti suhu, tekanan, getaran, dan pelumasan, hal ini memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan abnormal yang bisa mengindikasikan masalah potensi kegagalan atau penurunan kinerja, yang memungkinkan dapat dilakukan tindakan perbaikan yang proaktif sebelum terjadi kegagalan;

2. Melakukan penetapan jadwal perbaikan rutin berdasarkan pemantauan kondisi dan umur operasional komponen dengan melakukan perbaikan atau pergantian komponen yang aus secara proaktif;
3. Melakukan perbaikan atau perubahan jika diperlukan pada proses, atau metode pemeliharaan untuk mencegah kegagalan serupa;
4. Melakukan peningkatan perawatan preventif dengan mengimplementasikan jadwal perawatan preventif yang lebih sering dan komprehensif untuk komponen kritis dengan pemeriksaan berkala, pelumasan, kalibrasi, dan penggantian suku cadang yang aus sebelum mencapai batas umur operasional;
5. Melakukan peningkatan desain atau kualitas komponen jika analisis mengidentifikasi kelemahan dalam desain komponen serta pertimbangkan untuk melakukan perubahan desain atau peningkatan kualitas yang dapat mengurangi risiko kegagalan. Ini bisa meliputi penggunaan material yang lebih tahan lama, peningkatan kekuatan struktural, atau perbaikan fitur keamanan;
6. Melakukan pelatihan operator untuk pengoperasian atau pemeliharaan komponen kritis dengan memahami tanda-tanda kegagalan potensial dan prosedur yang benar untuk menangani situasi darurat;
7. Melakukan peningkatan sistem pelaporan kegagalan dan insiden terkait komponen kritis. Data yang terkumpul dari pelaporan dapat digunakan untuk melakukan evaluasi lanjutan dan mengidentifikasi tren yang dapat memberikan wawasan tambahan untuk perbaikan;
8. Melakukan perencanaan stok suku cadang untuk komponen kritis serta ketersediaan segera saat diperlukan yang dapat mengurangi downtime produksi akibat terjadinya kegagalan. Prosedur perencanaan stock cadang yang direncanakan dilakukan agar dapat memastikan *stock* yang cukup untuk menjaga kelancaran operasi, menghindari downtime yang tidak perlu dan mengelola biaya persediaan diantaranya:
 - a. Identifikasi kebutuhan, dengan melakukan analisis berdasarkan tinjauan data historis penggunaan suku cadang, dalam menentukan pola permintaan dan metode peramalan untuk memprediksi permintaan dimasa yang akan datang;
 - b. Mengklasifikasikan suku cadang kategori kritis yang tidak bisa ditunda pergantiannya dan kategori non kritis yang tidak memiliki dampak besar jika tertunda pergantiannya;
 - c. Menentukan minimum persediaan untuk menghindari kehabisan suku cadang, pemesanan ulang persediaan untuk memastikan persediaan tidak kosong dan menyiapkan *safety stock* untuk mengantisipasi lonjakan permintaan atau keterlambatan pengiriman;
 - d. Melakukan pemilihan pemasok yang terpercaya berdasarkan kualitas, harga, dan waktu pengiriman serta melakukan perjanjian untuk memastikan ketersediaan suku cadang sesuai kebutuhan;
 - e. Melakukan pengadaan atau pemesanan sesuai dengan rencana yang telah dibuat dengan memperhatikan tempat penyimpanan yang aman serta mudah diakses dengan sistem inventaris yang akurat;
 - f. Melakukan monitor atau audit persediaan secara berkala untuk memastikan akurasi stok dan lakukan evaluasi kinerja sistem perencanaan stock serta penyesuaian jika diperlukan;
 - g. Menggunakan software untuk membantu manajemen persediaan dan memastikan informasi yang akurat dan real time serta lakukan pemantauan data penggunaan dan persediaan untuk membantu dalam pengambilan Keputusan;
 - h. Membuat rencana darurat untuk mengatasi situasi tidak terduga dan identifikasi suku cadang alternatif yang dapat digunakan jika *stock* utama habis.

Adapun pada mesin ini, dari 15 faktor permasalahan komponen, ATC (*Automatic tool changer*) memiliki persentase tertinggi. Selain itu, komponen ini memiliki nilai RPN tertinggi

sebesar 126 pada permasalahan “alarm *ATC cover malfunction*”. Berdasarkan analisis lebih lanjut, permasalahan ini dapat terjadi karena kurangnya perawatan dan pembersihan yang rutin. Selain itu, bertambahnya usia pakai mesin juga mempengaruhi frekuensi masalah, sehingga intensitas preventifnya juga perlu ditingkatkan. Selain komponen ATC, komponen *amplifier/driver* pada permasalahan “alarm *servo malfunction*” dan *controller card* (NC/PC) pada permasalahan “alarm *servo/emergency stop*” juga memiliki nilai RPN sebesar 126. Permasalahan ini menunjukkan bahwa permasalahan pada komponen-komponen tersebut dapat dikatakan kritis dan memerlukan perhatian serta prioritas dalam evaluasi risiko. Beberapa usulan tindakan perencanaan, antara lain:

1. Alarm ATC *cover malfunction* pada *Automatic Pallet Changer* (ATC):
 - a. Melakukan pemeriksaan fisik, kunci, atau mekanisme penguncian secara menyeluruh pada ATC *cover* untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik atau keausan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi;
 - b. Melakukan pembersihan rutin ATC *cover* dan pemeliharaan berkala untuk mencegah akumulasi penumpukan kotoran yang dapat mengganggu proses;
 - c. Melakukan kalibrasi ulang sensor pada ATC *cover* untuk memastikan deteksi yang akurat terhadap posisi *cover*;
 - d. Melakukan penggantian komponen ATC *cover* yang mengalami kerusakan atau keausan dengan spesifikasi yang sesuai;
 - e. Melakukan penyesuaian pengaturan ulang sistem alarm agar lebih sensitif atau lebih spesifik terhadap kondisi sebenarnya;
 - f. Melakukan pelatihan operator untuk mengenali tanda-tanda alarm ATC *cover malfunction* serta mengetahui tindakan darurat jika alarm ATC *cover malfunction* terjadi;
 - g. Melakukan implementasi program pemantauan rutin yang mencakup pemeriksaan visual dan uji fungsi pada ATC *cover* untuk mendeteksi masalah sejak dini sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius;
 - h. Melakukan penyimpanan dan analisis data alarm ATC *cover malfunction* untuk mencari pola atau tren untuk mengidentifikasi pola atau tren yang dapat menunjukkan masalah sistemik.
2. Alarm servo malfunction pada komponen *amplifier/driver*:
 - a. Melakukan pemeriksaan *amplifier/driver servo motor* secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik atau keausan yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi. Selain itu periksa juga kabel dan konektor untuk memastikan tidak ada korsleting atau hubungan yang longgar;
 - b. Melakukan uji fungsi pada *amplifier/driver servo motor* untuk memastikan komponen dapat menggerakkan servo motor dengan benar serta periksa keluaran tegangan dan arus *servo motor* yang digunakan sesuai dengan spesifikasi;
 - c. Melakukan kalibrasi ulang *amplifier/driver servo motor* untuk memastikan respon yang akurat terhadap sinyal kontrol dan pengaturan parameter yang sesuai dengan spesifikasi mesin;
 - d. Melakukan penggantian komponen *amplifier/driver servo motor* yang rusak atau tidak dapat diperbaiki sesuai dengan spesifikasi mesin;
 - e. Melakukan pemantauan suhu *amplifier/driver servo motor* untuk mencegah kelebihan panas selama proses untuk mencegah adanya indikasi masalah yang perlu ditangani;
 - f. Melakukan pelatihan operator untuk mengenali tanda-tanda *servo malfunction* dan mengetahui cara menangani situasi darurat dengan benar. tentang tindakan yang harus diambil saat *alarm servo malfunction* terjadi;
 - g. Masalah *alarm servo malfunction* pada *controller card*

- h. Melakukan pemeriksaan *controller card* secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik, seperti komponen yang terbakar atau korosi pada solder;
- i. Melakukan periksa koneksi antara *controller card* dan *servo motor* terpasang dengan benar dan tidak ada kabel yang longgar atau putus;
- j. Melakukan pembaruan perangkat lunak (*firmware*) pada *controller card* ke versi terbaru yang tersedia. Perangkat lunak yang usang atau tidak kompatibel mungkin menyebabkan masalah kompatibilitas dengan komponen lainnya;
- k. Melakukan uji fungsi menyeluruh pada *controller card* untuk memastikan bahwa semua fungsi kontrol dan pemrosesan data berjalan dengan baik;
- l. Melakukan penggantian *controller card* dengan yang baru sesuai spesifikasi jika ditemukan kerusakan atau tidak dapat diperbaiki;
- m. Melakukan pemeriksaan *log error* pada *controller card* untuk melihat pesan atau kode *error* yang dapat memberikan petunjuk tentang sumber masalah untuk membantu dalam diagnosis dan perbaikan lebih lanjut;
- n. Melakukan pelatihan operator untuk mengenali tanda-tanda masalah *controller card* dan mengetahui cara mengatasi situasi darurat yang terjadi.

Dengan menerapkan rekomendasi usulan perbaikan yang direncanakan diatas secara menyeluruh dan berkelanjutan, mempengaruhi peningkatan produktivitas serta mencegah dan mengurangi permasalahan ini terjadi, dimana dapat mengurangi nilai RPN, meningkatkan keandalan, kinerja mesin serta mengurangi gangguan operasional yang disebabkan permasalahan memiliki kategori resiko tinggi yaitu nilai RPN tertinggi sebesar 126 pada permasalahan *alarm ATC cover malfunction* pada komponen ATC, *alarm servo malfunction* pada komponen *amplifier/driver* atau *controller card (NC/PC) malfunction* serta permasalahan kritis lainnya yang memiliki lebih dari 87,93.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) yang didapatkan dalam pelaksanaan hingga penyelesaian Tugas Akhir yang telah dilakukan pada mesin CNC milling type variaxis direntang tahun 2023-2024 dapat disimpulkan bahwa, berdasarkan analisis risiko yang terjadi memiliki penilaian RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi sebesar 126 dari nilai kritis RPN sebesar 87,93 yang berarti komponen atau permasalahan kritis memiliki nilai RPN lebih besar dari 87,93 ($>87,93$). ATC (*Automatic Tool Changer*) menjadi komponen kritis yang memiliki persentase faktor permasalahan komponen tertinggi mencapai 129% dan juga memiliki nilai RPN tertinggi sebesar 126, pada permasalahan "*alarm ATC cover malfunction*" dan teridentifikasi melalui pendekatan CPS (*Core Problem Solving*) bahwa alarm ATC ini disebabkan keterlambatan perawatan, kurangnya pemeriksaan dan pemantauan kondisi sistem, dan pengaruh bertambahnya usia pakai.

Berdasarkan analisis yang dilakukan didapatkan usulan perencanaan tindakan untuk menurunkan nilai RPN dan mencegah terjadinya kegagalan yang berulang pada permasalahan kritis yang diharapkan dapat meningkatkan keandalan mesin CNC milling type variaxis, dimana komponen ATC (*Automatic Tool Changer*) merupakan komponen kritis yang atau memiliki tingkat kepentingan tinggi pada mesin CNC milling type variaxis yang perlu mendapatkan prioritas utama untuk diperhatikan. Selain itu juga permasalahan yang memiliki nilai RPN kritis diperlukan perhatian lebih berdasarkan skala prioritasnya, kemudian meningkatkan intensitas preventif yang telah dilakukan, melakukan *update* pembuatan jadwal perawatan dan pergantian secara berkala dan membuat perencanaan *stock* suku cadang dengan kualitas yang sesuai atau lebih dari spesifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Hanif, R. Y., Rukmi, H. S., & Susanty, S. (2015). Perbaikan Kualitas Produk Keraton Luxury di PT. XYZ dengan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis

- (FTA). *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 03(03), 1–11.
- Marpaung, S. B., Ritonga, D. A. A., & Irwan, A. (2021). Analisa Risk Priority Number (RPN) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Thresher dengan Menggunakan Metode FMEA di PT. XYZ. *JiTEKH*, 9(2), 74–81. <https://doi.org/10.35447/jitekh.v9i2.427>
- Massaguni, M. (2023). Perancangan Program Manufaktur untuk Produksi Massal Engsel Baja Menggunakan Mesin CNC 2-Axis Mazak Quick Turn Smart 150 S. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri X 2023*, 363–369. <https://journal.atim.ac.id/index.php/prosiding/article/view/634>
- Norina, R., & Silangit, B. F. (2018). Usulan Waktu Penggantian Pahat Optimal di Mesin CNC Vertical Milling 3-Axis Berdasarkan Metode Six Sigma untuk Meminimasi Cacat Produk Eye End CH1899-0009 (Studi Kasus di PT. Pudak Scientific). *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 16(2), 36. <https://doi.org/10.26874/jt.vol16no2.35>
- Prianto, E., & Pramono, H. S. (2001). *Proses Permesinan Cnc Dalam Pembelajaran Simulasi*. 62–68.
- Rinoza, M., & Ahmad Kurniawan, F. (2021). Analisa RPN (Risk Priority Number) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Kompresordouble Screw Menggunakan Metode Fmea Di Pabrik Semen PT.XYZ. *Cetak) Buletin Utama Teknik*, 17(1), 1410–4520.
- Sukania, I. W. S., & Wijaya, C. W. (2023). Analisis Sistem Perawatan Mesin Produksi Menggunakan Metode FMEA di PT. X. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 15(2), 103. <https://doi.org/10.24843/jem.2022.v15.i02.p06>
- Syahputri, K., & Nursania, S. (2021). Analisis Penyebab Kecacatan Produk Menggunakan Cause and Effect Diagram dan Failure Mode and Effect Analysis pada Koperasi ABC. *Talenta Conference Series ...*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.32734/ee.v4i1.1304>