

Analisis Kegagalan Proses Pengelasan Standar Motor Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) di PT BERDIKARI METAL ENGINEERING

MUHAMMAD ZHARFAN PRIHANDOKO, IWAN AGUSTIAWAN, CECEP HENDRAWAN

Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: fanzhar4@gmail.com

Received DD MM YYYY | Revised DD MM YYYY | Accepted DD MM YYYY

ABSTRAK

Standar samping merupakan komponen motor untuk menopang saat tidak digunakan, dimana pembuatannya melewati proses pengelasan robot. Saat proses tersebut terdapat kendala dimana hasilnya menjadi cacat, maka dilakukan analisis kegagalan proses. Kegagalan proses dominan di analisis menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengetahui mode kegagalan, efek yang muncul dan penyebab kegagalan. Untuk mengetahui prioritas perbaikan, dilakukan penilaian severity, occurrence dan detection nantinya akan menghasilkan Risk Priority Number (RPN). Hasil produksi mesin F-17 didapatkan 19416 buah dengan cacat 111 buah. Didapatkan beberapa jenis cacat proses pengelasan dominan dari delapan jenis cacat yang terjadi yaitu pengelasan berlubang, pengelasan tidak berada pada jalur pengelasan dan pengelasan tidak menutupi seluruh jalur pengelasan. Hasil analisis FMEA diketahui nilai RPN dimana nilai terbesar sebagai fokus utama untuk diperbaiki, dimana meja jig goyang (343).

Kata kunci: FMEA, Severity, Occurrence, Detection, RPN

ABSTRACT

Side stand is a component which is useful for supporting motor when not used, where the manufacturing process goes through the robot welding process. When the process there several obstacles where the result be defective, then an failure analysis process in this robot welding is carried out. Dominant failure will analyzed using Failure Mode and Effect Anlysis(FMEA) method to determine failure mode, effects that appear and causes of the failure mode. To determine priority of failure be repaired, assessment of severity, occurrence and detection. which will produce a Risk Priority Number (RPN). The production of the F-17 engine were 19416 units with 111 defects. Several types of dominant welding defects were found from the eight types of defects that occurred, welding not on the welding line and welding lacking. The results of the FMEA analysis show the RPN value where the largest value is the main focus to be repaired, where the jig table shakes (343).

Keywords: FMEA, Severity, Occurrence, Detection, RPN

1. PENDAHULUAN

Terkadang pemilik kendaraan roda dua tersebut tidak memperhatikan kelayakan komponen-komponen yang sudah lama dipakai secara terus menerus. Contohnya adalah standar samping, karena saat kendaraan roda dua di parkir dengan keadaan menggunakan standar samping banyak orang, baik itu penggunaannya maupun orang lain yang diam atau menduduki kendaraan roda dua tersebut. Samudra Y. (2021) Hal ini dapat menyebabkan standar samping tersebut akan mengalami deformasi yang nantinya dapat membuat kendaraan roda dua tersebut tidak dapat lagi diberdirikan menggunakan standar samping tersebut. Dari hasil pengamatan saat melakukan kerja praktik diketahui bahwa, dalam pembuatan standar samping ini melalui proses-proses produksi seperti pemilihan bahan, pemotongan bahan, *bending*, pengelasan, *inspect* hingga akhirnya selesai. Khususnya di proses pengelasan menggunakan robot terdapat beberapa kendala yang membuat komponen standar samping ini akan menjadi cacat. Maka dilakukan analisis kegagalan proses pada pengelasan standar samping ini. Metode analisis yang digunakan yaitu dengan metode FMEA. Metode ini dipilih agar dapat dilakukan evaluasi serta proses dikembangkan dengan cara yang meminimalkan risiko terjadinya mode kegagalan potensial, dengan memastikan keselamatan, kesehatan personel dan keamanan sistem, Sharma K.(2018).

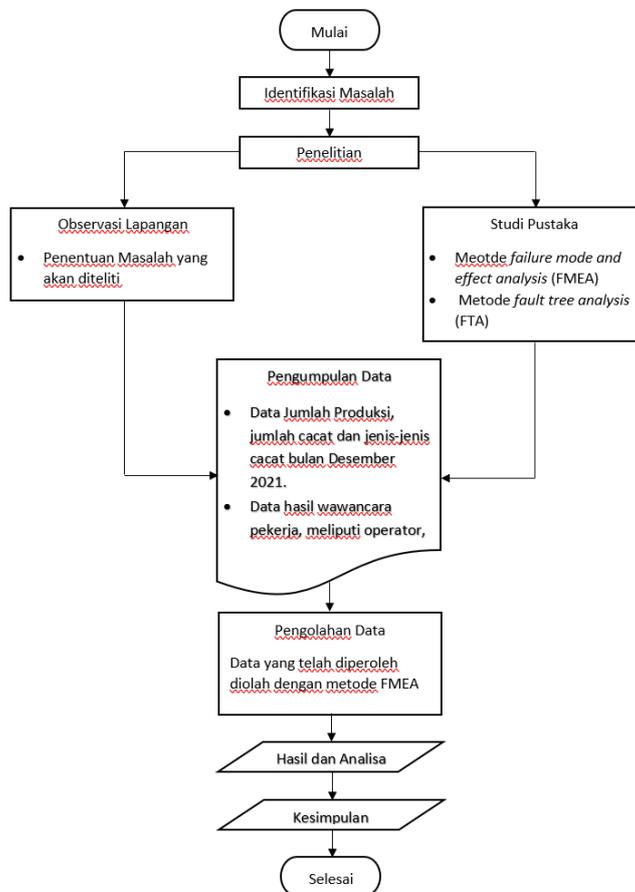
Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui jenis-jenis cacat yang terjadi pada proses pengelasan standar samping menggunakan robot, seperti yang dikatakan dalam penelitian J. Zhang (2020) bahwa industri baru yang signifikan tentang perlunya teknik diagnostik canggih dalam robotika industri. Setelah itu dicari tiga jenis cacat yang jumlahnya tinggi, dan dicari penyebab/mode kegagalan proses pengelasan menggunakan robot ini. Maka dari beberapa mode kegagalan yang terjadi nantinya mode kegagalan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) terbesar akan menjadi fokus utama perbaikan. Penelitian ini berguna untuk mengetahui penyebab kegagalan paling dominan pada pengelasan standar samping menggunakan robot dan nantinya dapat ditindak lanjuti baik itu dicari akar permasalahannya atau langsung mencari solusi agar penyebab kegagalan tersebut tidak terjadi lagi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir merupakan alir kerja atau proses, agar pelaksanaan penelitian mencapai tujuan yang telah direncanakan maka dibuatlah Langkah seperti pada **Gambar 1**. Pertama-tama Mengidentifikasi masalah yang terdapat pada bagian robot *welding* di perusahaan, melakukan observasi lapangan yang bertujuan untuk mengetahui lebih jauh permasalahan yang terjadi pada bagian robot *welding*, melakukan studi pustaka metode penelitian yang digunakan yaitu *failure mode and effect analysis* (FMEA), mengumpulkan data-data yang berguna untuk penelitian yaitu data jumlah produksi jumlah cacat dan jenis-jenis cacat selama periode kerja praktik, pengolahan data yang telah diperoleh dengan menentukan persentase cacat yang paling dominan kemudian dilakukan analisis menggunakan metode FMEA. mendapatkan hasil dari pengolahan data yang menggunakan metode FMEA. Dari hasil dan analisa didapatkan beberapa kesimpulan dan juga saran agar penyebab kegagalan tidak terjadi lagi.

Analisis Kegagalan Proses Pengelasan Standar Motor Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) di PT BERDIKARI METAL ENGINEERING



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.3. Jenis Penelitian

Terdapat beberapa jenis penelitian seperti:

1. Penelitian kuantitatif, adalah penelitian dengan memperoleh data yang berbentuk angka atau data kualitatif yang diangkakan.
2. Penelitian kualitatif, data kualitatif adalah data yang berbentuk kata, skema, dan gambar.

Berdasarkan definisi diatas metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif dengan pendekatan kuantitatif, karena penelitian ini adalah penelitian pada industri manufaktur yang membahas pengendalian kualitas suatu produk serta menganalisis banyaknya total cacat pada produk.

2.4. Jenis Data dan Informasi

Dalam penelitian ini menggunakan dua jenis data yang dipakai sebagai bahan penelitian yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Mencakup data yang diperoleh dari perusahaan langsung baik melalui pengamatan atau observasi secara langsung dilapangan maupun diskusi dan wawancara kepada pihak-pihak terkait khususnya karyawan pada bagian robot *welding*. Dalam kata lain data primer adalah data yang masih mentah yang sebelum diolah atau diproses sebelumnya.

2. Data Sekunder

Mencakup data yang diperoleh dari perusahaan langsung yang sudah diolah atau telah dihitung. Data sekunder yang didapatkan untuk penelitian ini adalah data historis perusahaan berupa: Data produksi, Data jumlah cacat produk, Data jenis-jenis cacat pada bulan Desember 2021.

2.2. Data Produksi

Data produksi yang didapatkan yaitu pada satu mesin pengelasan robot saja selama satu bulan, dan didapatkan data produksi seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 1. Data produksi selama satu bulan

No	Bulan Desember	Jumlah Produksi (pcs)	Jumlah Cacat (pcs)	% Cacat
1	Minggu 1	2910	25	0,85%
2	Minggu 2	6075	61	1%
3	Minggu 3	5400	16	0,29%
4	Minggu 4	5031	9	0,17%
	Total	19416	111	0,57%

Nilai presentase tersebut diperoleh dengan cara menghitung rasio antara jumlah produk jadi dengan jumlah produk yang cacat. Jenis cacat yang terjadi pada proses pengelasan ini ada beberapa jenis yaitu cacat inklusi, cacat berlubang, cacat tidak menutupi seluruh jalur pengelasan, cacat tidak berada pada jalur pengelasan, cacat *undercut*, cacat keropos, pivot tidak senter dan cacat material. Adapun jumlah cacat selama satu bulan seperti pada tabel dibawah.

Tabel 2. Jumlah Cacat Setiap Minggu Selama Satu Bulan

No	Jenis Cacat	Minggu				Total
		1	2	3	4	
1	<i>Inklusi</i>	5	8	-	-	13
2	<i>Berlubang</i>	1	-	-	-	1
3	Tidak menutupi seluruh jalur pengelasan	4	19	5	-	28
4	Tidak berada pada jalur pengelasan	14	27	11	9	61
5	<i>Undercut</i>	-	2	-	-	2
6	Keropos/ <i>Porosity</i>	-	-	-	-	0
7	Pivot tidak senter	1	3	-	-	4
8	Cacat material	-	2	-	-	2
	Total Cacat	25	61	16	9	111

2.3 Failure and Effect Analysis (FMEA)

Dalam analisis menggunakan metode FMEA ini ditentukan dengan penilaian *severity*, *occurrence* dan *detection* dengan skala 1 sampai 10. Setelah dilakukan penilaian dari skala 1 sampai 10 tahap selanjutnya adalah dengan menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dimana nilai RPN ini didapatkan dari hasil perkalian dari nilai skala *severity*, *occurrence* dan *detection*. Pada penelitian ini dibuat dua analisis FMEA yaitu yang pertama adalah untuk mengetahui nilai RPN terbesar dari setiap cacatnya yang didapatkan dari pemodelan yang telah dibuat, dan untuk mengetahui mode kegagalan penyebab cacat pengelasan tertinggi. Adapun skala ranking dari *severity*, *occurrence* dan *detection* seperti berikut

- *Severity*

Severity adalah langkah pertama untuk menganalisis resiko yaitu menghitung seberapa besar dampak/intensitas kejadian mempengaruhi output proses.

Tabel 3. Severity

Ranking	Kriteria
1	<i>Negligible Severity</i> (pengaruh buruk yang dapat diabaikan). Kita tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kinerja produk. Pengguna akhir mungkin tidak akan memperhatikan kecacatan ini.
2 3	<i>Mild Severity</i> (pengaruh buruk yang ringan). Akibat yang timbul hanya bersifat ringan. Pengguna akhir tidak akan merasakan perubahan kinerja. Perbaikan dapat dikerjakan pada saat pemeliharaan reguler.
4 5 6	<i>Moderate Severity</i> (pengaruh buruk yang moderat). Pengguna akhir akan merasakan penurunan kinerja, namun masih dalam batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan tidak mahal dan dapat dilakukan dalam waktu singkat
7 8	<i>High Severity</i> (pengaruh buruk yang tinggi). Pengguna akhir akan Merasakan akibat buruk yang tidak akan diterima, berada diluar batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan sangat mahal.
9 10	<i>Potential Saverity Problems</i> (masalah keamanan potensial). Akibat yang ditimbulkan sangat berbahaya dan berpengaruh terhadap keselamatan pengguna. Bertentangan dengan hukum.

- *Occurrence*

Kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. *Occurrence* menunjukkan nilai keseringan suatu masalah yang terjadi karena *potential cause*.

Tabel 4. Occurrence

<i>Degree</i>	Berdasarkan Frekuensi Pada Kejadian	<i>Rank</i>
<i>Remote</i>	0,01 per 1000 item	1
<i>Low</i>	0,01 per 1000 item	2
	0,5 per 1000 item	3
<i>Moderate</i>	1 per 1000 item	4
	2 per 1000 item	5
	5 per 1000 item	6
<i>High</i>	10 per 1000 item	7
	20 per 1000 item	8
<i>Very High</i>	50 per 1000 item	9
	100 per 1000 item	10

- *Detection*

Detection merupakan alat control yang digunakan untuk mendeteksi *potential cause*. Identifikasi metode-metode yang diterapkan untuk mencegah atau mendeteksi penyebab dari mode kegagalan.

Tabel 5. Detection

<i>Rating</i>	Kriteria	Berdasarkan pada frekuensi kejadian
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada Kesempatan bahwa penyebab mungkin muncul	0,01 per 1000 item
2 3	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah.	0,1 per 1000 item 0,5 per 1000 item
4 5 6	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat moderat. Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi.	1 per 1000 item 2 per 1000 item 5 per 1000 item
7 8	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif, penyebab masih berulang kembali	10 per 1000 item 20 per 1000 item
9 10	Kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif, penyebab selalu berulang kembali.	50 per 1000 item 100 per 1000 item

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Dari hasil pengolahan data menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) diketahui bahwa terdapat tiga cacat yang paling dominan pada proses pengelasan *Bar Comp KIAA* adalah pengelasan tidak berada pada jalur pengelasan dengan persentase sebesar 54,95%, Pengelasan tidak menutupi seluruh jalur pengelasan dengan persentase sebesar 25,22% dan pengelasan berlubang dengan persentase sebesar 11,71%.

Jenis cacat dominan tersebut menghasilkan mode kegagalan sebagai berikut meja jig goyang, operator kurang konsentrasi, *setting zero seat* jarang dilakukan, jig jarang dilakukan pembersihan dan lubang *nozzle* kotor. Dari Tabel 4. bahwa jenis cacat tidak berada pada jalur pengelasan memiliki nilai RPN tertinggi yaitu 294. Kemudian pada Tabel 5. diketahui bahwa kegagalan dari meja jig goyang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu 343. Hal ini disebabkan karena aliran *air pressure* untuk sistem pneumatik meja jig tidak stabil. Nilai RPN tertinggi ini merupakan prioritas untuk dicari penyebab masalahnya dan diberikan saran tindakan untuk memperbaikinya.

3.2. Analisis Failure and Effect Analysis (FMEA)

Analisis menggunakan metode FMEA dilakukan dari tiga jenis cacat dominan yang mempengaruhi kekuatan pengelasan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 6. dibawah dan diketahui jenis cacat yang paling dominan yang mempengaruhi kekuatan adalah berlubang, tidak berada pada jalur pengelasan, tidak menutupi seluruh jalur pengelasan. Untuk menentukan apakah tiga jenis cacat dominan tersebut memang berdampak buruk maka dilakukan penilaian RPN terlebih dahulu seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 7.

Tabel 6. Jumlah cacat pengelasan selama satu bulan

No	Jenis Cacat	Jumlah	%	Keterangan
1	Inklusi	13	11,71%	Tidak mempengaruhi kekuatan pengelasan
2	Berlubang	2	1,80%	Mempengaruhi kekuatan Pengelasan
3	Tidak menutupi seluruh jalur pengelasan	28	25,22%	Mempengaruhi kekuatan Pengelasan
4	Yidak berada pada jalur pengelasan	61	54,95%	Mempengaruhi kekuatan Pengelasan
5	<i>undercut</i>	1	0,92%	Mempengaruhi kekuatan Pengelasan
6	Keropos/ <i>Porosity</i>	0	0%	Mempengaruhi kekuatan Pengelasan
7	Pivot tidak senter	4	3,60%	Mempengaruhi kekuatan Pengelasan
8	Cacat material	2	1,80%	Tidak mempengaruhi kekuatan pengelasan
Total Cacat		111	100%	

Tabel 7. Penilaian Risk Priority Number Cacat Pengelasan

No	Jenis Cacat	Jumlah	%	S	O	D	RPN
1	<i>Inklusi</i>	13	11,71%	2	4	4	32
2	Berlubang	1	0,92%	7	2	2	28
3	Tidak menutupi seluruh jalur pengelasan	28	25,22%	6	5	5	150
4	Tidak berada pada jalur pengelasan	61	54,95%	6	7	7	294
5	<i>Undercut</i>	2	1,80%	4	2	2	16
6	Keropos/ <i>Porosity</i>	0	0%	5	1	1	5
7	Pivot tidak senter	4	3,60%	7	2	2	28
8	Cacat material	2	1,80%	1	2	2	4
Total Cacat		111	100%				

Setelah dilakukan penilaian RPN setiap cacat maka memang benar bahwa tiga cacat dominan yang terjadi juga memiliki tiga nilai RPN terbesar, maka tiga jenis cacat dominan ini dipilih untuk dianalisis menggunakan metode FMEA dengan menentukan mode kegagalan, efek yang ditimbulkan, penyebab terjadinya kegagalan dan penilaian *severity*, *occurrence* dan *detection*, sehingga mendapatkan nilai RPN, dimana nilai RPN terbesar akan menjadi fokus utama untuk perbaikan.

Tabel 8. Penilaian Risk Priority Number Jenis Cacat Dominan

Proses	Jenis Cacat	Mode Kegagalan	Efek yang Ditimbulkan	Penyebab Kegagalan	S	O	D	RPN
Robot Welding	Tidak berada pada jalur pengelasan, Tidak menutupi seluruh jalur pengelasan, Berlubang	Meja jig goyang	Komponen yang sudah terpasang dengan baik jadi berubah posisi.	<i>Air pressure</i> untuk sistem pneumatik meja jig tidak stabil. Sehingga meja menabrak ujung pembatas <i>slider</i> meja.	7	7	7	343
		Operator kurang konsentrasi	Peletakan komponen pada jig tidak benar.	Operator mengejar target.	2	3	4	24
		<i>Setting zero</i> jarang dilakukan	Titik nol proses pengelasan tidak sesuai	Operator <i>Setting</i> jarang melakukan <i>zero sett</i> atau setting permulaan pada mesin <i>Robot Welding</i>	4	4	4	64
		Jig jarang dilakukan pembersihan	Komponen terganjal oleh kotoran.	Tidak dilakukannya pembersihan pada jig <i>welding</i> dengan menggunakan <i>air gun</i> .	2	2	3	12
		Lubang <i>nozzle</i> kotor	Penumpukan sparter pengelasan	Tidak dilakukan pembersihan <i>nozzle</i>	2	2	2	8
		Kecepatan pengelasan lambat	Melelehkan filler las dan benda kerja	Setelah <i>setting zero</i> tidak dilakukan penghitungan waktu efektifnya	1	2	2	4

3.3. Metode Pencegahan Dengan 5W+1H

Setelah mengetahui bahwa meja jig goyang memiliki nilai RPN tertinggi maka mode kegagalan tersebut menjadi fokus utama untuk dilakukan perbaikan, sehingga dibuat metode pencegahan berdasarkan 5W+1H agar mode kegagalan tersebut berkurang intensitas terjadinya atau bahkan tidak terjadi lagi.

Tabel 9. Pencegahan Dengan Penambahan Air Pressure Tank

1. Penambahan Air Pressure Tank Saat Mesin Diperusahaan bertambah	
5W+1H	Jawaban
Apa yang harus dilakukan?	Menambahkan air pressure tank
Mengapa harus dilakukan penambahan air pressure tank?	Agar supply udara untuk robot pengelasan tercukupi dan tidak terpakai oleh mesin lain
Dimana dilakukan penambahan air pressure tank	Pada mesin-mesin yang menggunakan sistem pneumatik dan kekurangan supply udara
Siapa yang harus menambahkan air pressure tank?	Foreman mengajukan penambahan air pressure tank pada manager lapangan

Kapan penambahan air pressure tank dapat ditambah?	Saat hari libur perusahaan agar tidak mengganggu produksi
Bagaimana penambahan air pressure tank bisa membuat meja jig tidak goyang Kembali?	Karena supply udara pada air pressure tank yang ditambahkan dikhususkan untuk robot pengelasan

Tabel 10. Pencegahan Dengan Perubahan Meja Jig Menjadi Statik

2. Perubahan Meja Jig dari Sistem Pneumatik Menjadi Statik	
5W+1H	Jawaban
Apa yang harus dilakukan?	Merubah meja jig dari sistem pneumatik menjadi statik
Mengapa harus dilakukan perubahan meja jig dari sistem pneumatik menjadi statik?	1. Agar tidak terjadi meja jig goyang yang diakibatkan supply udara untuk sistem pneumatik tidak stabil 2. Waktu produksi menjadi lebih singkat dan dapat memperbanyak jumlah produksi
Dimana dilakukan perubahan meja jig dari sistem pneumatik menjadi statik?	Pada bagian pengelasan robot yang terindikasi mode kegagalan meja jig goyang
Siapa yang harus Merubah meja jig dari sistem pneumatik menjadi statik	Manager produksi dengan melibatkan Kepala produksi dan kepala maintenance
Kapan perubahan meja jig dari sistem pneumatik menjadi statik dapat dilakukan?	Saat <i>weekend</i> karena tidak semua mesin las robot berjalan, sehingga mesin las yang tidak berjalan dapat dilakukan proses penggantian meja jig
Bagaimana perubahan meja jig dari sistem pneumatik menjadi statik dapat dilakukan bisa membuat meja jig tidak goyang Kembali?	Karena supply udara hanya digunakan untuk jignya saja dan mejanya tidak perlu bergerak maju mundur kembali menggunakan sistem pneumatik karena sudah menjadi statik

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data lapangan dan analisa, terdapat delapan cacat utama yang terjadi pada proses pengelasan *Bar Comp K1AA* yaitu inklusi, berlubang, tidak menutupi seluruh jalur pengelasan, tidak berada pada jalur pengelasan, *undercut*, keropos/ *porosity*, pivot tidak senter dan cacat material. Jenis cacat pada *Bar Comp K1AA* tidak berada pada jalur pengelasan merupakan jumlah cacat yang paling banyak dengan jumlah sebanyak 61. Hasil data produksi diketahui bahwa pada bulan Desember total hasil produksi *Bar Comp K1AA* yang dihasilkan mesin no F-17 adalah sebanyak 19416 buah dengan jumlah total cacat 111 buah. Hasil metode FMEA dikehui bahwa nilai RPN terbesar yaitu terjadi pada mode kegagalan meja jig goyang, dengan nilai RPN sebesar 343. Sehingga menjadi prioritas perbaikan dan hasil metode FMEA dikehui bahwa nilai RPN terkecil yaitu pada mode kegagalan lubang nozzle kotor dengan nilai RPN sebesar 8.

DAFTAR PUSTAKA

- Muhammad Iqbal (2018). *Perancangan Jig and Fixture Portable Line Machine*. 26 November 2018. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Febri, H,. (2017). *Analisa Teknis Dan Ekonomis Kombinasi Pengelasan Robotic Welding Dengan Weldier Konvensional Pada Sambungan Pipa Strktur Jacker Bangunan Lepas Pantai*. Teknik ITS, Semarang.

- Nugraha, F., W., (2019). Studi Kelayakan Implementasi Otomasi Industrial Robot Arc *Welding* Pada Porses Perakitan Rangka Viar Kaya. Universitas Diponegoro Semarang.
- Wikipedia, (2021, Maret 31) Definisi Manufaktur. Diambil dari.
<https://id.wikipedia.org/wiki/Manufaktur>
- Samudera Y., (2021, Mei 14) Efek Standar Samping Diduduki, Diambil dari.
<https://gridmotor.motorplus-online.com/>
- Groover, Mikell.P, (2007), **Fundamentals of Modern Manufacturing : Material, Proseses and System 3rd Edition**, John Wiley & Son Inc, USA
- Achmad Paisal, (2020), Analisis Penyebab Cacat Menggunakan Metode FMEA Pada Produk Dark Compound Dengan Pendekatan Metode Kaizen Untuk Memperbaiki Sistem Produksi Studi Kasus PT.Xyz. *Journal of SNITT POLTEKBA*, 4, 329-333.
- J. Zhang and W. Song, (2020) Physics-of-Failure based Model for Industrial Robot Reliability Prediction, *2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, 2020, pp. 729-734.
- Sharma, Kapil & Srivastava, Shobhit. (2018). Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Implementation, *Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science Volume 5*, Issue 1&2 - 2018, Pg. No. 1-17.
- Hasbullah, (2017). Analisis Kegagalan Proses Insulasi Pada Produksi Automotive Wires (AW) dengan metode FMEA pada PT.JLC. *Journal of Teknik Industri*, 21, 193-203.