

## PENINGKATAN KUALITAS PRODUK PAN FRAME R, RR BACK DENGAN METODE FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DAN ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) DI PT NUSA INDAH JAYA UTAMA

Annisa Fazra<sup>1)</sup>

Emi Rusmiati<sup>2)</sup>

Jurusan Teknik Industri Otomotif, Politeknik STMI Jakarta<sup>1,2)</sup>

Jl. Letjend Suprapto No.26, Cempaka Putih, Jakarta 10510

Telp. (021)42886064 Fax. (021)42888206

E-mail: ichafazra@gmail.com<sup>1)</sup>, emir@stmi.ac.id<sup>2)</sup>

### Abstrak

*PT Nusa Indah Jaya Utama (NIJU) adalah perusahaan yang bergerak di bidang otomotif yang melakukan kegiatan stamping dan manufacturing. Dalam upaya mempertahankan kualitas produk, PT NIJU terus berusaha untuk meminimasi jumlah cacat di setiap produksinya. Dari pengumpulan data yang dilakukan dari bulan April sampai dengan Mei 2018, didapatkan bahwa komponen Pan Frame R, RR Back memiliki jumlah cacat terbesar dalam proses produksinya yaitu 2,83% dan crack merupakan jenis cacat yang paling sering terjadi. Dalam permasalahan ini, metode yang digunakan adalah Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk menentukan urutan tindakan yang paling tepat untuk dilakukan terlebih dahulu. Dari perhitungan RPN, tiga nilai RPN tertinggi adalah pada mode kegagalan crack dengan penyebab kegagalan sistem pendingin untuk kompresor tidak optimal (480), operator menyepelkan instruksi kerja (448) dan tidak adanya SOP untuk memberikan pelumas (320). Berdasarkan hasil analisis dengan metode AHP didapatkan urutan tindakan perbaikan yang sebaiknya dilakukan terlebih dahulu adalah mengoptimalkan sistem pendingin pada kompresor (0,431), membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk pemberian pelumas (0,210), melakukan briefing setiap pagi untuk operator (0,182) dan melakukan pemeriksaan pada material sebelum diproduksi (0,174).*

*Kata Kunci:* Failure Mode and Effect Analysis, Analytical Hierarchy Process.

### Pendahuluan

Kualitas merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam upaya memenuhi kebutuhan pelanggan dan mempertahankan eksistensi perusahaan pada kondisi pasar yang cukup bersaing. Begitu pun dengan PT Nusa Indah Jaya Utama yang terus berupaya menjaga kualitas, menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi dan harapan pelanggan. PT NIJU memproduksi beberapa komponen, salah satunya *Pan Frame R, RR Back* yang memiliki banyak jumlah cacat dalam proses produksinya yaitu sebanyak 127 unit dari produksi sebanyak 4.490 unit atau sebesar 2,83%.

*Pan Frame R, RR Back* ini diproduksi menggunakan mesin *large press* dengan kekuatan 315 ton dan memiliki 3 proses, yaitu *Drawing*, *Trimming* dan *Piercing*, dan *Flange*. Diantara ketiga proses ini, proses ketiga atau *Flange* adalah proses yang paling banyak ditemukan cacat dan jenis cacat yang paling sering terjadi pada proses ini yaitu *crack* dimana produk mengalami pecah dan tidak bisa di-repair sehingga menjadi *scrap*. Kondisi ini cukup merugikan perusahaan karena produktivitas perusahaan dapat menurun sehingga perlu dilakukan suatu upaya untuk memperbaiki kualitas *Pan Frame R, RR Back*.

Upaya perbaikan dapat dilakukan dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode FMEA adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan dengan skala prioritas. Hasil akhir dari metode FMEA adalah *Risk Priority Number* (RPN) atau angka risiko prioritas yang diperoleh dari perkalian antara *severity*, *occurrence* dan *detection*. Dari RPN tersebut kemudian diurutkan mulai *rating* tertinggi serta diberikan alternatif tindakan yang disarankan untuk perbaikan. Guna menentukan tindakan

yang paling tepat, digunakan pemberian pembobotan dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode AHP adalah salah satu metode yang digunakan untuk pengambilan keputusan yang menggunakan beberapa variabel dengan proses analisis bertingkat.

## Metodologi Penelitian

### 1. Studi Lapangan.

Studi lapangan merupakan langkah awal yang dilakukan dengan mempelajari permasalahan pada proses produksi komponen *Pan Frame R, RR Back* dengan tujuan mendapatkan informasi mengenai kegagalan proses berdasarkan data sekunder perusahaan.

### 2. Studi Pustaka.

Studi pustaka ini bertujuan untuk menunjang penelitian dan sebagai dasar mengenai teori-teori yang dapat dipakai baik sebagai referensi atau rujukan permasalahan yang dihadapi maupun untuk memecahkan permasalahan. Adapun studi pustaka yang dilakukan yaitu berhubungan dengan kualitas, pengendalian kualitas, metode FMEA dan metode AHP.

### 3. Perumusan Masalah.

Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana usulan tindakan perbaikan proses produksi untuk komponen *Pan Frame R, RR Back* dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

### 4. Tujuan Penelitian.

Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan alternatif tindakan perbaikan dan menentukan prioritas dari alternatif tersebut sebagai upaya perbaikan dari komponen *Pan Frame R, RR Back*.

### 5. Pengumpulan Data.

Pengumpulan data diperlukan untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan objek penelitian. Informasi tersebut selanjutnya diolah dan menjadi dasar dalam analisis dan pemecahan masalah. Data yang dikumpulkan meliputi data primer dan sekunder. Data primer dalam penelitian ini meliputi data hasil wawancara dengan pakar/ahli pada bagian *quality control* untuk mengetahui penyebab kegagalan (*potential failure*) dari proses produksi *Pan Frame R, RR Back*, juga alternatif tindakan perbaikan untuk menyelesaikan masalah pada komponen tersebut. Data sekunder yang dikumpulkan pada penelitian ini yaitu data jumlah produksi dan data jumlah produk cacat *Pan Frame R, RR Back*.

### 6. Pengolahan Data.

Setelah data yang diperlukan terkumpul, tahap selanjutnya yaitu melakukan pengolahan data. Adapun tahapannya adalah pembuatan diagram batang untuk mengetahui jenis cacat yang paling sering terjadi, identifikasi mode kegagalan dengan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), identifikasi efek kegagalan, penyebab kegagalan dan pengendalian proses sehingga dapat menghitung Nilai RPN (*Risk Priority Number*).

### 7. Analisis Masalah.

Pada tahap ini, dapat diketahui apakah hasil analisis dari pengolahan data dapat membantu menyelesaikan masalah yang terjadi. Analisis yang dilakukan adalah analisis nilai RPN dan setelah mengetahui mode kegagalan yang menjadi prioritas perbaikan berdasarkan nilai RPN tertinggi, selanjutnya ditentukan alternatif tindakan untuk mode kegagalan tersebut dan dilakukan penentuan tindakan perbaikan dengan metode AHP.

### 8. Kesimpulan dan Saran.

Dari tahapan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik sebuah kesimpulan yang menjawab semua tujuan penelitian. Berdasarkan kesimpulan tersebut, diperoleh saran-saran yang dapat dipertimbangkan oleh perusahaan untuk menyelesaikan masalah yang ada, juga diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perusahaan.

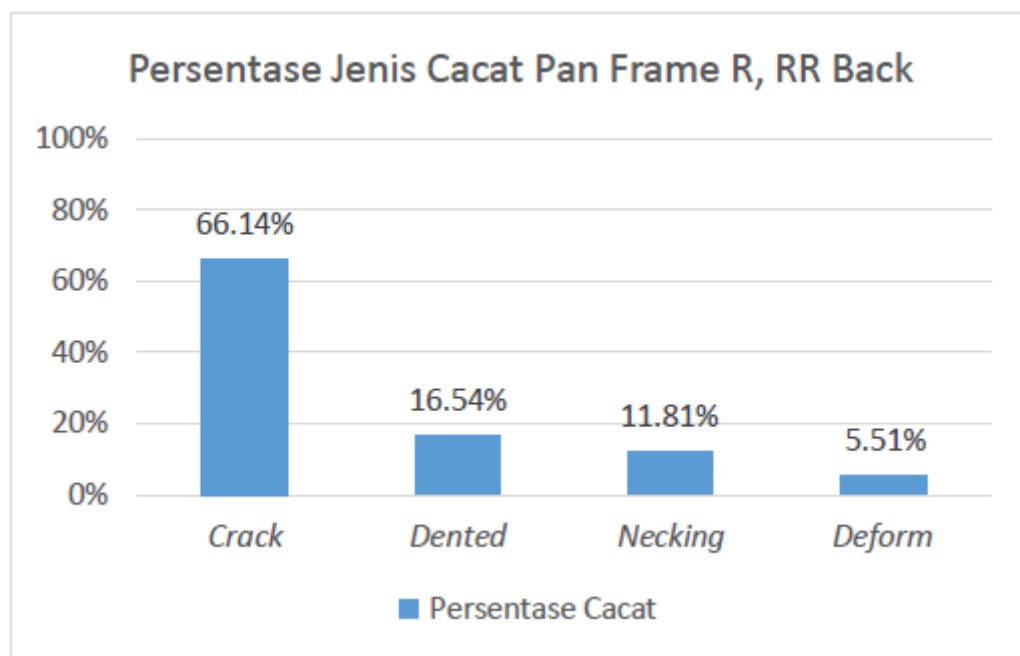
## Hasil dan Perancangan

### Jenis Cacat Pan Frame R, RR Back.

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data jumlah cacat yang dihasilkan pada produksi *Pan Frame R, RR Back* dari bulan April sampai dengan Mei 2018 dengan jumlah produksi sebanyak 4.490 unit. Jenis cacat pada komponen ini adalah *deform/gelombang*, *dented/bintik*, *crack/pecah*, dan *necking/penipisan*. Data jumlah cacat pada komponen ini dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data tersebut maka dapat dibuat diagram batang untuk mengetahui cacat yang paling sering terjadi, persentase jenis cacat pada komponen ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Data Jumlah Cacat *Pan Frame R, RR Back*

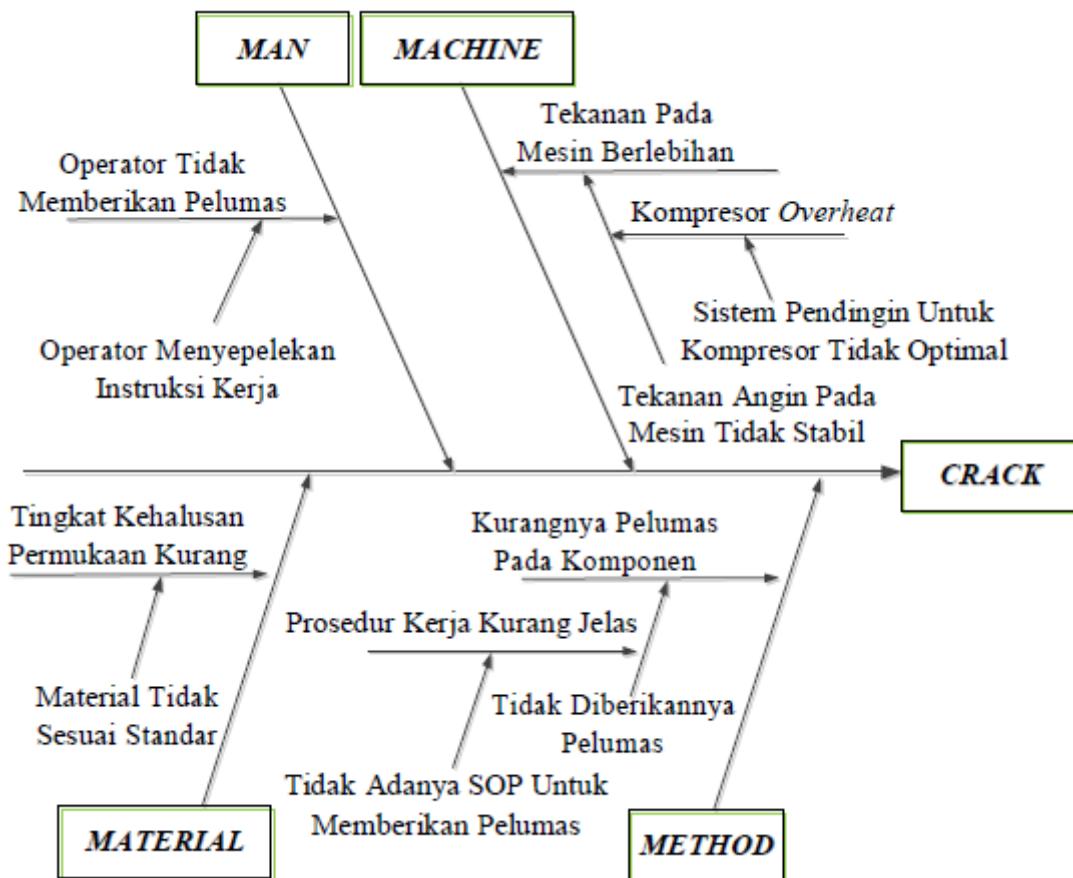
No.	Jenis Cacat	Jumlah Cacat	Persentase (%)	Persentase Kumulatif
1	<i>Crack</i>	84	66,14	66,14
2	<i>Dented</i>	21	16,54	82,68
3	<i>Necking</i>	15	11,81	94,49
4	<i>Deform</i>	7	5,51	100
Total		127	100	

Gambar 1. Data Jenis Cacat pada *Pan Frame R, RR Back*

Berdasarkan diagram tersebut, maka dapat diketahui persentase jenis cacat *crack* sebesar 66,14%, *dented* sebesar 16,54%, *necking* sebesar 11,18%, *deform* sebesar 5,51%. *Crack* merupakan jenis cacat dengan jumlah terbesar dan karena mengakibatkan penurunan kualitas *Pan Frame R, RR Back* sehingga jenis cacat inilah yang menjadi prioritas perbaikan.

### Identifikasi Penyebab Kegagalan.

Dalam mengidentifikasi penyebab dari setiap jenis cacat, *tools* yang digunakan adalah *fishbone diagram*. Untuk mengetahui penyebab potensial dari setiap jenis cacat, maka dilakukan *brainstorming* dengan bagian *Inspection* dan *Leader Quality Control* di PT NIJU. *Fishbone diagram* dari setiap jenis cacat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Fishbone Diagram Crack

Pada faktor *man*, penyebab terjadinya cacat dikarenakan operator tidak mengikuti instruksi kerja yang ada, dimana operator tidak memberikan pelumas sebelum melakukan pengepresan. Sedangkan pada faktor *machine*, cacat *crack* terjadi dikarenakan tekanan angin terlalu tinggi yang membuat pengepresan pada komponen berlebihan. Faktor penyebab terjadinya tekanan angin yang berlebihan ini adalah penyaluran angin yang tidak merata dari kompresor sehingga kompresor terkadang mati saat keadaan terlalu panas/*overheat* yang disebabkan oleh sistem pendingin untuk kompresor tersebut tidak bekerja dengan optimal.

Selanjutnya pada faktor material, komponen *Pan Frame R, RR Back* memiliki spesifikasi tersendiri untuk material yang akan digunakan, *sheet metal* yang digunakan pada produksi *Pan Frame R, RR Back* adalah jenis SPCC dengan ukuran panjang x lebar 660 x 485 mm dan ketebalan 0,5 mm, dari sekian banyak material yang dikirim, terkadang ada beberapa material yang tidak sesuai, dimana tingkat kehalusan permukaan kurang. Pada faktor *method*, cacat *crack* terjadi karena kurangnya pelumas pada material yang disebabkan oleh tidak adanya SOP untuk melakukan hal tersebut.

#### ***Identifikasi Mode Kegagalan Potensial dengan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).***

Pembuatan tabel FMEA dimulai dari penentuan mode kegagalan potensial, efek dari kegagalan tersebut, penyebab dari kegagalan yang terjadi, kontrol yang akan dilakukan dan upaya penanggulangannya. Penentuan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* diperoleh dari hasil *brainstorming* dengan bagian *Inspection* dan *Leader Quality Control* di PT NIJU.

Tabel 2. Nilai Risk Priority Number (RPN)

Mode Kegagalan Potensial	Efek Kegagalan Potensial	Severity (S)	Penyebab Kegagalan Potensial	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN (S x O x D)
<i>Crack</i>	<i>Pan Frame R, RR Back mengalami retak/pecah sehingga menjadi scrap</i>	8	Operator menyepelekan instruksi kerja	7	8	448
			Sistem pendingin untuk kompresor tidak optimal	6	10	480
			Material tidak sesuai standar	3	8	192
			Tidak adanya SOP untuk memberikan pelumas	5	8	320

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat diketahui bahwa nilai RPN tertinggi pada mode kegagalan *crack* adalah penyebab kegagalan dari faktor mesin yaitu sistem pendingin untuk kompresor tidak optimal dengan nilai RPN sebesar 480. Nilai RPN tertinggi kedua adalah penyebab kegagalan dari faktor manusia yaitu instruksi tidak dilaksanakan dengan baik dengan nilai RPN sebesar 448. Nilai RPN tertinggi ketiga adalah penyebab kegagalan dari faktor metode yaitu tidak adanya Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk memberikan pelumas dengan nilai RPN sebesar 320.

Ketiga nilai RPN tertinggi dari penyebab kegagalan potensial tersebut terjadi pada mode kegagalan *crack*. Hal ini menjadi pertimbangan untuk menjadikan mode kegagalan ini sebagai fokus perbaikan kualitas dan akan diberikan daftar tindakan perbaikan pada setiap penyebab kegagalan potensial.

Langkah selanjutnya adalah memberikan usulan tindakan perbaikan dengan melakukan *Focus Group Discussion* (FGD) untuk mengatasi penyebab terjadinya mode kegagalan tersebut. Usulan tindakan perbaikan untuk setiap penyebab kegagalan pada mode kegagalan *crack* dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, dari 4 (empat) usulan tindakan perbaikan, diperlukan pemilihan prioritas dalam menentukan tindakan perbaikan yang paling tepat untuk dilaksanakan terlebih dahulu, sesuai dengan kondisi perusahaan. Metode yang digunakan sebagai dasar penentuan prioritas pada penelitian ini adalah dengan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Tabel 3. Usulan Tindakan Perbaikan

No.	Penyebab Kegagalan	Usulan Tindakan Perbaikan
1.	Operator menyepelekan instruksi Kerja.	Dilakukan <i>briefing</i> setiap pagi untuk operator.
2.	Sistem pendingin untuk kompresor tidak optimal.	Mengoptimalkan sistem pendingin pada kompresor.
3.	Material tidak sesuai standar.	Melakukan pemeriksaan pada material sebelum diproduksi.
4.	Tidak adanya SOP untuk memberikan pelumas.	Membuat SOP untuk pemberian pelumas.

#### ***Pemilihan Tindakan Perbaikan Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP).***

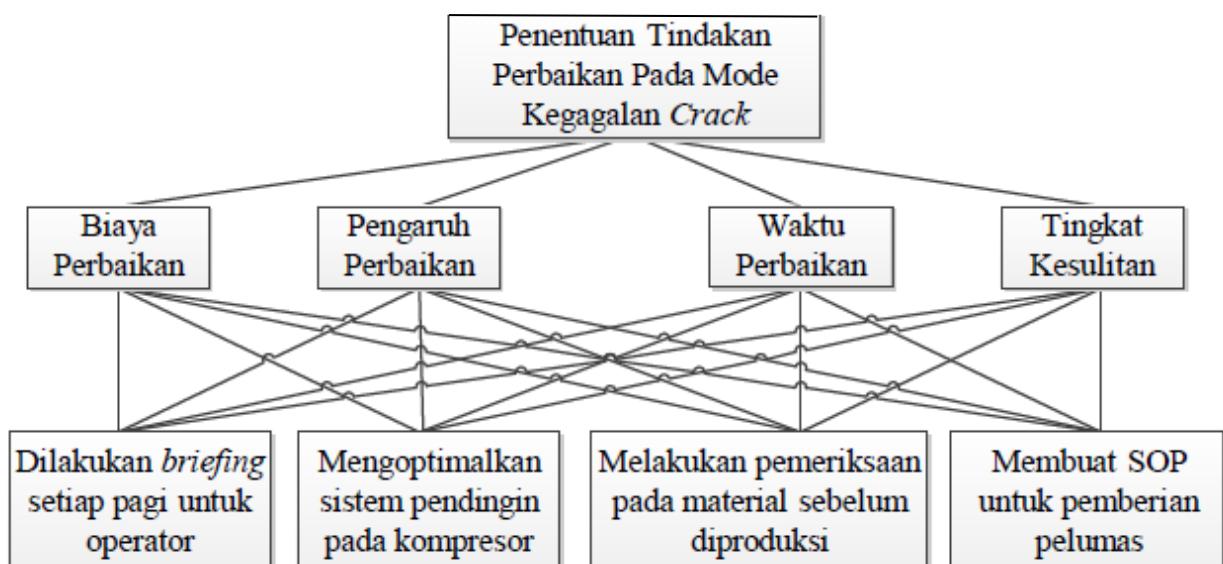
Dalam melakukan upaya tindakan perbaikan, terdapat berbagai faktor yang perlu diperhatikan yang mempengaruhi pengambilan keputusan dari alternatif tindakan perbaikan. Maka dari itu, dilakukan *Focus Group Discussion* (FGD) dengan pakar di PT NIJU untuk

menentukan kriteria apa saja yang perlu dipertimbangkan. Adapun jumlah pakar pada penelitian ini adalah sebanyak 4 orang pakar dari bagian *Finance, Production Planning and Control (PPC)*, *Production* dan *Quality Control*.

Pemilihan kriteria dalam penentuan upaya tindakan perbaikan berdasarkan hasil penyebaran kuesioner kepada 4 pakar, antara lain:

- a. Biaya Perbaikan (BP), kriteria ini berarti pertimbangan dari alternatif mengenai seberapa besar biaya yang dibutuhkan jika tindakan perbaikan tersebut dilakukan.
- b. Pengaruh Perbaikan (PP), kriteria ini berarti pertimbangan dari alternatif mengenai seberapa besar pengaruh yang dapat terjadi dengan melakukan tindakan perbaikan tersebut, dalam hal ini seberapa besar tingkat kegagalan yang dapat berkurang.
- c. Waktu Perbaikan (WP), kriteria ini berarti pertimbangan dari alternatif mengenai berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan tindakan perbaikan tersebut.
- d. Tingkat Kesulitan (TK), kriteria ini berarti pertimbangan dari alternatif mengenai bagaimana kesulitan yang harus dihadapi jika tindakan perbaikan tersebut dilakukan.

Setelah diketahui kriteria dalam penentuan upaya tindakan perbaikan dan alternatif tindakan perbaikan pada mode kegagalan *crack*, maka dapat dilakukan penyusunan hirarki yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Hirarki

Penentuan prioritas kriteria dan alternatif dilakukan berdasarkan tingkat kepentingan yang didapatkan dari hasil pengisian kuesioner matriks oleh empat pakar dari bagian *Finance/Pakar 1*, *Production Planning and Control (PPC)/Pakar 2*, *Production/Pakar 3* dan *Quality Control/Pakar 4*. Hasil pengisian kuesioner matriks untuk masing-masing kriteria selanjutnya dimasukkan ke dalam bentuk matriks perbandingan berpasangan seperti pada Tabel 4. Dari matriks tersebut kemudian dihitung *geometric mean* dan dilakukan normalisasi matriks sehingga didapatkan bobot setiap kriteria.

Tabel. 4 Matriks Perbandingan Berpasangan Kriteria

	BP	PP	WP	TK	Pakar 1
BP	1	7	5	2	
PP	0,143	1	0,2	0,111	
WP	0,2	5	1	0,2	
TK	0,5	9	5	1	
	1,843	22	11,2	3,311	
	BP	PP	WP	TK	Pakar 2
BP	1	0,2	3	3	
PP	5	1	7	7	
WP	0,333	0,143	1	3	
TK	0,333	0,143	0,333	1	
	6,667	1,486	11,333	14	
	BP	PP	WP	TK	Pakar 3
BP	1	3	5	5	
PP	0,333	1	5	3	
WP	0,2	0,2	1	0,333	
TK	0,2	0,333	3	1	
	1,733	4,533	14	9,333	
	BP	PP	WP	TK	Pakar 4
BP	1	3	7	3	
PP	0,333	1	5	3	
WP	0,143	0,2	1	0,333	
TK	0,333	0,333	3	1	
	1,810	4,533	16	7,333	

Setelah dihitung bobot dari kriteria, dapat dihitung *Consistency Ratio* (CR) untuk mengetahui konsistensi dari pendapat para pakar. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai CR dari setiap pakar < 0,1 sehingga pendapat dari 4 pakar terhadap tingkat kepentingan antar kriteria pada dianggap konsisten dan perhitungan dapat dilanjutkan yaitu menghitung bobot antar alternatif.

Untuk melakukan perhitungan bobot antar alternatif, dilakukan langkah yang sama seperti perhitungan bobot antar kriteria. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bobot seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Urutan Antar Alternatif Tiap Kriteria

<b>Biaya Perbaikan</b>		<b>Waktu Perbaikan</b>	
Alternatif	Bobot	Alternatif	Bobot
Alternatif 1	0,266	Alternatif 1	0,266
Alternatif 2	0,315	Alternatif 2	0,315
Alternatif 3	0,263	Alternatif 3	0,263
Alternatif 4	0,157	Alternatif 4	0,157
<b>Pengaruh Perbaikan</b>		<b>Tingkat Kesulitan</b>	
Alternatif	Bobot	Alternatif	Bobot
Alternatif 1	0,049	Alternatif 1	0,049
Alternatif 2	0,635	Alternatif 2	0,635
Alternatif 3	0,077	Alternatif 3	0,077
Alternatif 4	0,240	Alternatif 4	0,240

Tabel. 5 Hasil Perhitungan *Geometric Mean* Kriteria

Kriteria	BP	PP	WP	TK
BP	1	1,884	4,787	3,080
PP	0,531	1	2,432	1,627
WP	0,209	0,411	1	0,508
TK	0,325	0,615	1,968	1
	2,064	3,910	10,187	6,215

Tabel. 6 Normalisasi Matriks Kriteria

Kriteria	BP	PP	WP	TK
BP	0,484	0,482	0,470	0,496
PP	0,257	0,256	0,239	0,262
WP	0,101	0,105	0,098	0,082
TK	0,157	0,157	0,193	0,161

Tabel 7. Urutan Antar Kriteria

Kriteria	Bobot	Persentase	Peringkat
BP	0,484	48,3	I
PP	0,253	25,3	II
WP	0,097	9,7	IV
TK	0,167	16,7	III

### **Penentuan Prioritas Tindakan Perbaikan.**

Nilai bobot antar kriteria pada Tabel 7 dan nilai bobot antar alternatif pada Tabel 8 selanjutnya digunakan untuk melakukan perhitungan yang menghasilkan nilai prioritas. Nilai prioritas ini adalah nilai untuk setiap alternatif dengan pertimbangan kriteria yang ada. Berikut adalah perhitungan untuk penentuan prioritas tindakan perbaikan.

Bobot Alternatif				X	Bobot Kriteria		Hasil
0,266	0,049	0,155	0,159		0,483	=	0,182
0,315	0,635	0,544	0,398		0,253		0,431
0,263	0,077	0,111	0,109		0,097		0,174
0,157	0,240	0,191	0,333		0,167		0,210

Dari hasil perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai prioritas dan peringkat untuk setiap masing-masing alternatif, dimana tindakan perbaikan yang lebih baik dilakukan terlebih dahulu secara berturut-turut adalah alternatif 2 yaitu mengoptimalkan sistem pendingin pada kompresor (0,431), alternatif 4 yaitu membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk pemberian pelumas (0,210), alternatif 1 yaitu melakukan *briefing* setiap pagi untuk operator (0,182) dan alternatif 3 yaitu melakukan pemeriksaan pada material sebelum diproduksi (0,174). Nilai prioritas yang lebih besar menunjukkan bahwa alternatif tindakan perbaikan tersebut lebih baik didahului jika dibandingkan dengan alternatif tindakan lain yang memiliki nilai lebih kecil.

### **Kesimpulan**

Dari hasil pengumpulan dan pengolahan data serta analisis dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini. Dari kriteria biaya perbaikan, pengaruh perbaikan, waktu perbaikan dan tingkat kesulitan, biaya perbaikan adalah kriteria yang paling penting untuk dijadikan pertimbangan. Selanjutnya, dari hasil perhitungan nilai bobot kriteria dan alternatif maka dapat diketahui bahwa tindakan perbaikan yang lebih baik dilakukan terlebih dahulu secara berturut-turut adalah mengoptimalkan sistem pendingin pada kompresor (0,431), membuat Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk pemberian pelumas (0,210), melakukan *briefing* setiap pagi untuk operator (0,182) dan melakukan pemeriksaan pada material sebelum diproduksi (0,174). Maka dari itu, solusi yang dapat diberikan pada perusahaan yaitu mengoptimalkan sistem pendingin pada kompresor untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya *overheat* pada kompresor, misalnya dengan memasang beberapa alat pendingin di bagian mesin kompresor, membuat *exhaust system* untuk meningkatkan suhu di sekitar kompresor dan juga membuat sirkulasi udara menjadi baik, selain itu dapat juga digunakan *blower* yang mampu mengatasi *overheat* pada kompresor.

### **Daftar Pustaka**

Daftar pustaka disusun berdasarkan susunan abjad penulis. Contoh penulisan daftar pustaka adalah sebagai berikut:

- [1] Ariani, Wahyu Dorothea. 2003. *Pengendalian Kualitas Statistik Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [2] Assauri, Sofjan. 1998. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- [3] Gaspersz, Vincent. 2005. *Total Quality Management*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [4] McDermott, Robin E., Mikulak, Raymond J. dan Beauregard, Michael R. 1996. *The Basics of FMEA*. New York: Taylor & Francis Group
- [5] Miranda, Amin Widjaja Tunggal. 2002. *Six Sigma Gambaran Umum: Penerapan Proses dan Metode-Metode yang Digunakan untuk Perbaikan GE Motorola*, Jakarta: Harvarindo

- [6] Mitra, Amitava. 1993. *Fundamental of Quality Control and Improvement*. New York: Macmillan Publishing Comp.
- [7] Saaty, Thomas L. 2009. *Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process*. Jakarta: Pustaka Binaman Pressindo.