

# **Analisis Kegagalan Mesin (CR02) Menggunakan *Failure Mode And Effect Analysis***

Tita Latifah Ahmad, S.T.,M.T.<sup>1)</sup>  
Politeknik Gajah Tunggal  
[titalatifahahmad@gmail.com](mailto:titalatifahahmad@gmail.com)

Nora Elma Yulita<sup>2)</sup>  
Teknologi Industri, Politeknik Gajah Tunggal  
[elmayulitanora@gmail.com](mailto:elmayulitanora@gmail.com)

Athur Prima Hermawan, S.T.<sup>3)</sup>  
PT. Indo Muro Kencana  
[athurhermawan1@gmail.com](mailto:athurhermawan1@gmail.com)

## **ABSTRAK**

*PT Natra Mining is a mining company that focuses on processing metallic minerals, including gold. The processing of metallic minerals is crucial to ensure the sustainability of the mining business, involving advanced technical and technological stages to convert raw minerals into commercial final products. One of the important machines in this process is the Cone Crusher (CR02), which functions to crush rocks into smaller sizes. This machine faces the problem of high downtime due to various factors, such as damage to the liner, spring feeder, and difficulty in crushing materials mixed with mud. This research aims to analyze the causes of downtime and offer a more effective maintenance strategy using the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) method which helps identify problems, including the use of composite rubber springs which are more durable than steel springs. The analysis results show that replacing parts with composite rubber can reduce downtime and maintenance costs. This research is expected to increase operational efficiency and support the achievement of PT Natra Mining's production targets.*

Kata Kunci : *Cone Crusher (CR02), FMEA, Steel Spring, Composite Rubber, Downtime*

## I. PENDAHULUAN

PT NATRA Mining adalah perusahaan pertambangan yang mengolah mineral logam (Emas). Proses produksi yang dilakukan dalam pengolahan mineral logam ini memiliki peran penting pada keberlangsungan bisnis pertambangan. Tahap pengolahan ini mencakup berbagai jenis mineral, seperti emas, batubara, perak, dan nikel. Proses tersebut sangat penting karena mengubah mineral mentah menjadi produk akhir yang dapat digunakan secara komersial. Pengolahan mineral logam melibatkan berbagai tahapan teknis dan teknologi canggih. Keberhasilan dalam pengolahan ini menentukan nilai ekonomis mineral. Oleh karena itu, pengolahan yang efektif sangat diperlukan untuk memastikan keuntungan dan keberlanjutan industri pertambangan [1].

Pertambangan di perusahaan PT Natra Mining terdapat salah satu mesin yang cukup berpengaruh pada proses produksi yaitu mesin *Cone Crusher* (CR02). *Cone Crusher* (CR02) adalah mesin pemecah batuan yang digunakan dalam industri pertambangan untuk mengubah batuan menjadi ukuran lebih kecil secara efisien [2]. Mesin ini bekerja dengan menghancurkan batuan menggunakan tekanan antara mantel dan cangkang eksternal yang berputar.

Adapun material yang dihancurkan, dikenal sebagai *scat*, merupakan produk samping dari SAGMILL (mesin penggerus *scat*) yang masih mengandung mineral berharga seperti emas (Au) dan perak (Ag). Prinsip kerja cone crusher didasarkan pada kompresi material yang masuk dalam ruang hancur. Ketika material dimasukkan ke dalam ruang hancur, *Cone Crusher* (CR02) menghasilkan gaya tekanan yang cukup besar untuk memecahkan batuan dengan ukuran dapat disesuaikan agar sesuai dengan kebutuhan aplikasi [3].

Pentingnya *Cone Crusher* (CR02) terletak pada kemampuannya untuk menghancurkan berbagai jenis batuan dengan tingkat kekerasan yang berbeda, mulai dari batu kapur hingga bijih besi. Desain *Cone Crusher* (CR02) yang efisien memungkinkan operasi yang stabil dan produktif, serta mampu menangani material dengan kelembapan yang bervariasi. Beberapa komponen utama dalam cone crusher termasuk mantel (permukaan kerucut yang berputar), bowl liner (permukaan penyok tetap), serta sistem pegas atau hidrolik untuk mengatur kecepatan dan tekanan operasi [4].

Meskipun *Cone Crusher* (CR02) merupakan mesin yang handal, beberapa faktor seperti keausan liner dan kebocoran oli dapat mempengaruhi efisiensi operasionalnya. Perawatan preventif dan pemeliharaan rutin sangat diperlukan untuk memastikan kinerja optimal dan meminimalkan downtime yang dapat mengganggu produktivitas produksi [5]. Dengan pemahaman mendalam tentang prinsip kerja dan komponen-komponen utamanya, perusahaan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengoptimalkan penggunaan mesin cone crusher dalam konteks industri yang kompetitif saat ini.

PT Natra Mining menghadapi tantangan dalam menjaga kelancaran produksi akibat kerusakan mesin yang menyebabkan *Downtime* tinggi. *Downtime* ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti penggantian *Cone Liner* yang menipis karena gesekan dengan material, patahnya Spring Feeder akibat tekanan berlebihan, kesulitan *Cone Crusher* (CR02) dalam menghancurkan material yang tercampur lum guapur, serta kerusakan permukaan penghancur material karena masuknya material besi pada saat beroperasi.

Kesulitan lain yang dihadapi adalah ketika *Cone Crusher* (CR02) harus menghancurkan material yang tercampur lumpur, yang membuat proses penghancuran menjadi lebih sulit dan tidak efisien. Lebih parah lagi, masuknya material berupa besi ke dalam *Cone Crusher* (CR02) dapat merusak permukaan penghancur, menyebabkan downtime tambahan untuk perbaikan. Situasi-situasi ini tidak hanya menghambat proses produksi tetapi juga mengganggu pencapaian target produksi perusahaan. Upaya untuk mengatasi masalah ini memerlukan strategi pemeliharaan yang lebih efektif dan peningkatan kualitas bahan baku untuk mengurangi frekuensi kerusakan mesin.

Mesin *Cone Crusher* (CR02) pada PT Natra Mining ini memiliki permasalahan yaitu terjadinya *Downtime*. Namun, seringkali mesin tersebut mengalami kerusakan yang dapat menyebabkan tingginya *Downtime* selama produksi sedang berlangsung. Tingginya angka *Downtime* pada mesin merupakan masalah umum yang seringkali dihadapi oleh banyak perusahaan saat ini. Kondisi ini tentunya dapat mengganggu pencapaian target produksi perusahaan. Maka dari itu, diperlukan analisis terhadap kerusakan mesin *cone crusher* guna mengidentifikasi kerusakan yang terjadi dan permasalahan *downtime* dapat teratasi.

Peneliti mengkaji beberapa literatur yang serupa dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur tersebut berasal dari sumber literatur ilmiah, seperti jurnal-jurnal terakreditasi nasional maupun internasional, buku-buku ilmiah, konferensi prosiding, dan sumber literatur ilmiah lainnya. Literatur tersebut digunakan peneliti sebagai pedoman dalam menganalisis kerusakan mesin *cone crusher*. Beberapa penelitian, termasuk yang dilakukan oleh Pibisono dan rekan-rekannya pada tahun 2020, menganalisis kegagalan maintenance unit produksi dengan menggunakan metode FMEA pada mesin dump truck CAT 785C di PT. Saptaindra Sejati. Penelitian ini membahas penyebab kerusakan yang terjadi pada mesin dump truck tersebut. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai risk priority number (RPN) tertinggi adalah 160 (12,5%) untuk masalah engine yang tidak dapat start, 132 (10,3%) untuk error 03 transmisi, 132 (10,3%) untuk masalah speed mundur, dan 128 (10%) untuk error engine dirate. Penelitian yang dilakukan oleh Ikhsan, dkk. (2021) yang menganalisis terhadap kerusakan mesin *Air Handling Unit* (AHU) menggunakan pendekatan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) [7]. Penelitian tersebut membahas terkait rusaknya mesin AHU yang disebabkan oleh 20% faktor dan diperlukan perawatan untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi; Penelitian yang dilakukan oleh Suseno, dkk. (2022) yang menganalisis terkait produktivitas penggunaan metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) pada mesin pembuat asap di PT Merapi Medika Solusindo [8]. Penelitian tersebut membahas terkait perhitungan secara matematis produktivitas mesin yang mana menghasilkan nilai OEE rata-rata tahunannya adalah 85,148%, yang berarti mesin *hammer mill* ini memerlukan perawatan bersifat preventif agar reliabilitas dan performa mesin tersebut dapat selalu menopang kegiatan produksi.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi strategi pemeliharaan komponen mesin guna mencegah downtime pada mesin *Cone Crusher* (CR02) di PT Natra Mining. Penelitian ini diharapkan mampu mengatasi masalah downtime yang terjadi pada mesin tersebut.

## II. METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian ini, peneliti membahas terkait tinjauan pustaka yang mendasari penelitian yang dilakukan dan alur penelitian. Adapun penjabaran mengenai tinjauan pustaka dan alur penelitian adalah sebagai berikut:

### 2.1. Mesin Cone Crusher (CR02)

*Cone Crusher* merupakan mesin pemecah batu yang digunakan secara luas dalam industri pertambangan untuk menghancurkan bahan mentah menjadi ukuran yang lebih kecil. Prinsip kerja *Cone Crusher* didasarkan pada gaya tekanan, di mana material dimasukkan ke dalam ruang hancur melalui bagian atas *Cone Crusher* dan kemudian dihancurkan antara mantel dan cangkang (*cone*) yang berputar dengan kecepatan tinggi [9]. Ruang hancur yang terbentuk oleh cekung dan mantel merupakan tempat di mana proses penghancuran berlangsung. Saat mantel melakukan gerakan eksentrik, jarak antara mantel dan cekung secara harmonis bertambah dan berkurang, yang menghasilkan proses penghancuran yang efisien. Setiap material batuan diperkirakan dihancurkan sekitar 10 kali saat melewati *Cone Crusher*. *Cone Crusher* umumnya dioperasikan pada kecepatan eksentrik yang tetap. Jarak terkecil antara cekung dan mantel, yang diukur di tempat paling sempitnya, disebut sebagai *Closed Side Setting* (CSS). Pengaturan ini memungkinkan pengguna untuk mengontrol ukuran material yang dihasilkan.

### 2.2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA adalah teknik untuk mengevaluasi tingkat keandalan sebuah sistem. Kegagalan dikelompokkan berdasarkan dampaknya terhadap keberhasilan misi sistem tersebut [15]. Evaluasi dilakukan berdasarkan tingkat kejadian (*Occurrence*), tingkat keparahan (*Severity*), dan tingkat deteksi (*Detection*). Dengan menggunakan skor ini, kita bisa mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang potensi kerusakan mesin selama proses produksi. *Risk Priority Number* (RPN) adalah ukuran relatif dari risiko. Sebelum menerapkan rekomendasi perbaikan, RPN digunakan untuk menentukan prioritas kerusakan yang harus diperbaiki terlebih dahulu. RPN dihitung dengan mengalikan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Perhitungan RPN dapat dilakukan menggunakan rumus pada persamaan 7.

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

- RPN = *Risk Priority Number*
- S = *Severity*
- O = *Occurance*
- D = *Detection*

Berdasarkan risiko yang telah diketahui nilai RPN masing-masing komponen, maka dapat ditentukan nilai risiko kritis. Risiko tersebut yang akan dianalisis lebih lanjut sebagai langkah awal dari tindakan penanganan risiko untuk mempertahankan kinerja mesin. Suatu risiko dikategorikan sebagai risiko kritis jika memiliki nilai RPN di atas nilai RPN kritis. Nilai kritis RPN ditentukan dari rata-rata nilai RPN seluruh risiko. Rata-rata nilai RPN ditentukan dengan menggunakan persamaan 8.

$$\text{Nilai Kritis RPN} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{JR}} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

JR = Jumlah Resiko

RPN = Risk Priority Number

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan nilai RPN untuk melihat kegagalan yang terjadi yang dilihat dari tiga hal sebagai berikut:

**1. Tingkat Kerusakan (Severity)**

Dengan ini dapat ditentukan dengan melihat seberapa serius kerusakan yang dihasilkan dengan terjadinya kegagalan proses. Nilai Ranking severity antara 1 sampai 10. Berikut adalah nilai severity secara umum pada Tabel 1. Kriteria dan Nilai Ranking Untuk Severity.

**Tabel 1.** Kriteria dan Nilai Ranking Untuk Severity.

Criteria of Severity Effect	Criteria	Ranking
Kesalahan yang dapat menyebabkan kematian pelanggan dan kerusakan sistem tanpa tanda-tanda yang mendahului	Amat sangat berbahaya	10
Kesalahan yang dapat menyebabkan cedera ringan sampai sedang dengan tingkat ketidakpuasan yang tinggi dari pelanggan dan/atau menyebabkan gangguan sistem yang membutuhkan perbaikan berat atau kerja ulang yang signifikan	Berbahaya	7
Kesalahan berakibat pada cedera ringan dengan sedikit ketidakpuasan pelanggan dan/atau menimbulkan masalah besar pada sistem	Berbahaya sedang	6
		5

**Tabel 1.** Lanjutan

Criteria of Severity Effect	Criteria	Ranking
Kesalahan menyebabkan cedera ringan atau tidak cedera tetapi dirasakan mengganggu oleh pelanggan dan menyebabkan masalah ringan pada sistem yang dapat diatasi dengan modifikasi ringan	Berbahaya ringan sampai sedang	4
Kesalahan tidak menimbulkan cedera dan pelanggan tidak menyadari adanya masalah tetapi berpotensi menimbulkan cedera ringan atau tidak berakibat sistem	Berbahaya ringan	3
Kesalahan tidak menimbulkan cedera tidak berdampak pada sistem	Tidak berbahaya	2
		1

**2. Frekuensi (Occurance)**

Dengan ini dapat ditentukan dengan melihat seberapa banyak gangguan yang dapat menyebabkan sebuah kegagalan. Nilai Ranking occurrence antara 1 sampai 10. Berikut nilai occurrence secara umum pada Tabel 2. Kriteria dan Nilai Ranking Untuk Occurance.

**Tabel 2.** Kriteria dan Nilai Ranking Untuk Occurance

<i>Criteria of Occurance Effect</i>	<i>Criteria</i>	<i>Ranking</i>
Kesalahan terjadi setidaknya sekali sehari atau hampir sepanjang waktu.	Kemungkinan terjadinya dapat dipastikan	10
Kesalahan dapat di prediksi terjadi setiap 3 sampai 4 hari	Hampir tidak dapat dihindarkan	9
		8
Kesalahan sering terjadi, setidaknya seminggu sekali.	Kemungkinan terjadinya sangat tinggi	7
		6
Kesalahan terjadi sekali sebulan	Kemungkinan terjadi tinggi sedang	5
Kesalahan kadang terjadi, sekitar sekali setiap tiga bulan.	Kemungkinan sedang terjadinya hal ini.	4
		3
Kesalahan terjadi sekitar sekali sehari	Ada kemungkinan kecil terjadinya	2
Kesalahan jarang terjadi, atau tidak ada yang ingat kapan terakhir kali terjadi	Kemungkinan terjadi amat sangat rendah	1

### 3. Tingkat Deteksi (*Detection*)

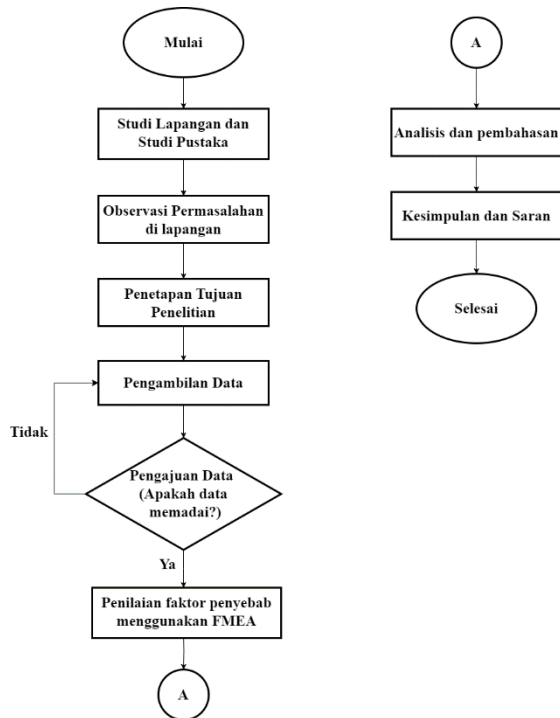
Dengan demikian, dapat ditentukan bagaimana kegagalan tersebut bisa diketahui sebelum terjadi. Tingkat deteksi dipengaruhi oleh jumlah kontrol yang mengatur jalannya proses; semakin banyak kontrol dan prosedur yang ada, maka diharapkan tingkat deteksi kegagalan semakin tinggi. Nilai peringkat deteksi berkisar antara 1 sampai 10. Berikut adalah nilai deteksi secara umum pada Tabel 4: Kriteria dan Nilai Peringkat untuk Deteksi. RPN menunjukkan keseriusan dan potensi kegagalan; semakin tinggi RPN, semakin bermasalah. RPN memberikan panduan untuk mengidentifikasi dan menentukan potensi kegagalan serta memberikan tindakan yang disarankan untuk meminimalisir kerusakan.

**Tabel 3.** Kriteria dan Nilai *Ranking* Untuk *Detection*

<i>Criteria of Detection Effect</i>	<i>Criteria</i>	<i>Ranking</i>
Tidak ada mekanisme untuk mengetahui kesalahan	Tidak ada peluang untuk diketahui	10
Kesalahan dapat diketahui dengan inspeksi menyeluruh, dan tidak segera dilakukan	Sangat sulit diketahui	9
Kesalahan dapat diketahui dengan inspeksi manual atau tidak ada proses untuk mengetahui, sehingga karena kebetulan Ada proses untuk double checks atau inspeksi tetapi tidak otomatis dilakukan secara sampling	Sangat sulit diketahui	8
	Berpeluang sedang untuk diketahui	7
	Sulit diketahui	6
	Berpeluang sedang untuk diketahui	5
	Berpeluang tinggi untuk diketahui	4
	Berpeluang tinggi untuk diketahui	3
	Berpeluang sangat tinggi untuk diketahui	2
	Hampir dipastikan untuk diketahui	1

### 2.3. Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian dengan pendekatan kuantitatif aplikatif, yang mana pengamatan dan pengumpulan data penelitian dilakukan dengan metode pengukuran, serta hasil data tersebut digunakan untuk diterapkan dalam perhitungan. Setiap langkah penelitian peneliti cantumkan dalam alur penelitian. Alur penelitian tersebut digunakan sebagai pedoman peneliti saat melakukan tahapan penelitian. Adapun alur penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, dapat diketahui bahwa penelitian dimulai dengan studi lapangan dan studi pustaka. Peneliti juga melakukan pengamatan dan observasi untuk mengetahui permasalahan yang terjadi. Selanjutnya, peneliti melakukan penetapan tujuan penelitian dan proses pengambilan data serta melakukan pengajuan untuk memvalidasi data tersebut. Setelah itu, peneliti akan melakukan penilaian terkait faktor penyebab dengan menggunakan metode FMEA untuk mengetahui *part* yang krusial pada mesin *Cone Crusher* (CR02). Adapun tahap analisis dan pembahasan untuk mendapatkan kesimpulan dan saran dari hasil nilai RPN tersebut. Hasil akhir yang diharapkan adalah peneliti dapat memberikan strategi Pemeliharaan atau perawatan pada mesin *Cone Crusher* (CR02).



Gambar 2. Mesin Cone Crusher (CR02)  
Sumber: (Dokumentasi Perusahaan, 2024)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan nilai efektivitas (OEE) pada mesin *Cone Crusher* (CR02), ditemukan adanya losses yang paling signifikan dan dapat mempengaruhi nilai efektivitas (OEE) yaitu *Equipment Failure/Breakdown Losses*. Dalam mengidentifikasi penyebab kegagalan yang tertinggi pada satu losses tersebut maka dilakukan suatu analisis dengan menggunakan metode FMEA. Sebelum menganalisis FMEA, maka diperlukan beberapa langkah-langkah untuk mengetahui kerusakan dari *part-part* pada mesin tersebut. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk menentukan *part-part* yang sering mengalami kerusakan dengan mengetahui mode kegagalan dari sebab dan akibatnya indikator *severity*, *occurance*, *detection*, dan nilai RPN (*Risk Priority Number*).

Selanjutnya yaitu identifikasi mode kegagalan untuk mengetahui kegagalan yang mungkin terjadi pada mesin. *Output* atau hasil identifikasi tersebut nantinya akan dijadikan penilaian berdasarkan tingkat kritis ataupun resikonya yang berpengaruh pada mesin *Cone Crusher* (CR02). Berikut beberapa tahapan dalam mengidentifikasi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA):

1. Mempelajari kegiatan operasional dan kegiatan *maintenace* yang ada di perusahaan.
2. Mengumpulkan data historis tentang kerusakan atau kegagalan *Part-Part* yang ada pada mesin *Cone Crusher* (CR02)
3. Melakukan wawancara kepada pihak perusahaan (tenaga ahli) untuk mengumpulkan informasi mengenai permasalahan yang sering terjadi pada mesin *Cone Crusher* (CR02).
4. Menentukan penilaian standar *severity*, *occurance*, dan *detection* dengan pewawancara (tenaga ahli).

#### 3.1. Function Failure

*Functional Failure* digunakan untuk mengetahui fungsi *Part* yang sering mengalami kegagalan atau kerusakan dari suatu mesin. Fungsi dari *Part* tersebut akan di gunakan sebagai data historis dengan menguraikan kerusakan dari *Part-Part* pada mesin *Cone Crusher* (CR02) tentang mode kegagalannya, dan data tersebut akan dimasukkan kedalam penilaian untuk menentukan nilai RPN (*Risk Priority Number*) menurut tingkat kritisnya. Sehingga dapat mengetahui seberapa serius kerusakan yang terjadi pada *Part-Part* mesin *Cone Crusher* (CR02) dan pengaruh dari kerusakan tersebut. Berikut ini Tabel 4 merupakan *Functional Failure* dari mesin *Cone Crusher* (CR02).

**Tabel 4. Functional Failure**

No	Equipment	Functional Failure (FF)
1	Mantel Cone	Nut pada mantel rusak dan ada <i>grinding ball</i> /besi yang lolos dari magnetic separator
2	Return Roller/ Impact Roller	Kualitas dari material roller dan pengaruh air masuk ke bearing roller sehingga return, impact, dan carry roller cepat rusak
3	Spring Feeder	Beban yang terlalu berat dari material yang berasal dari roombin sehingga menyebabkan spring feeder patah
4	V-Belt	Material dengan beban yang berat akan menyebabkan v-belt terpelintir dan lepas
5	Screen Feeder	Adanya gesekan dari besi/grinding ball dan material pada screen feeder sehingga menyebabkan cepat aus
6	Lubrikasi Oli	Oli lubrikasi terkontaminasi air sehingga adanya <i>Troubleshooting</i>
7	Chut buangan Grinding Ball	Adanya benturan pada Chut buangan grinding ball yang menyebabkan chut buangan menjadi rusak dan bolong
8	Rubber Skrit dan Rubber Rear Copper	Rubber skrit dan Rubber rear copper terkena gesakan dari material dan menyebabkan karetnya rusak
9	Scrubber/Cleaner Head Pulley	Gesekan yang terjadi antara <i>scat</i> (material) dengan Scrubber
10	Liner balance weight	Baut balance weight kendur karena benturan dari material sehingga menyebabkan cepat aus pada liner bagian dalam

**3.2. Failure Mode and Effect Analysis Mesin Cone Crusher (CR02)**

Setelah dilakukan identifikasi dengan menggunakan *Functional Failure*, terdapat 10 Part yang ditemukan permasalahan dan mengalami kerusakan secara signifikan. Maka, selanjutnya akan ditentukan FMEA dari masing-masing item-item atau *Part-Part* yang digunakan untuk mengetahui sebab dari mode kegagalan dan akibat mode kegagalan yang terjadi pada mesin *Cone Crusher* (CR02), serta menentukan penilaian RPN dengan beberapa indikator seperti *severity*, *occurance*, dan *detection*. Proses pengambilan data yang digunakan pada metode FMEA serta untuk menentukan penilaian RPN, didapatkan melalui hasil wawancara dengan tenaga ahli (*Supervisor*) yang disesuaikan dengan keadaan perusahaan sekarang. Hasil wawancara tersebut akan dilampirkan pada halaman terakhir. Lampiran tersebut akan menjadi bukti atau sebagai data yang diambil secara langsung dengan melalui wawancara.

**3.3. Worksheet Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

Setelah memperoleh data dari hasil wawancara pada beberapa tabel diatas, kemudian data tersebut dimasukkan kedalam lembar FMEA untuk selanjutnya diberi penilaian dari hasil rating *severity* (S), *occurance* (O), dan *detection* (D) untuk mencari nilai RPN. Berikut ini adalah *worksheet* dari data yang telah diperoleh dari hasil wawancara dengan tenaga ahli (*Supervisor*) di PT Natra Mining. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung nilai RPN (*Risk Priority Number*) dalam tabel FMEA di PT Natra Mining, berikut ini rumus RPN:

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

RPN = *Risk Priority Number*

S = *Severity*

O = *Occurance*

D = *Detection*

Sebagai contoh perhitungan untuk mantel cone:

$$RPN = 5 \times 5 \times 7 = 175$$

**Tabel 5. Worksheet FMEA**

No.	Equipment	Penilaian			RPN
		S	O	D	
1	Mantel Cone	5	5	7	175
2	Return Roller atau Impact Roller	2	7	4	56
3	Spring Feeder	7	8	7	336
4	V-Belt	10	6	2	120
5	Screen Feeder	4	3	3	36
6	Lubrikasi Oli	7	3	5	105
7	Chut buangan Grinding Ball	2	3	4	24
8	Rubber Skrit dan Rubber Rear Copper	3	1	4	12
9	Scrubber/Cleaner Head Pulley	1	1	5	5
10	Liner Balance Weight	7	3	7	147

Berdasarkan dari hasil nilai RPN di atas pada Tabel xx menunjukkan bahwa tingkat kerusakan *part* mesin semakin tinggi atau semakin besar, karena semakin besar kerugian yang diakibatkan dari masalah kerusakan yang terjadi.

**Tabel 6. Rekapitulasi RPN**

No.	Equipment	Penilaian			Risk Priority Number	Presentase RPN (%)	Presentase Accumulative (%)
		S	O	D			
1	Mantel Cone	5	5	7	175	34.3	34.3
2	Return Roller atau Impact Roller	2	7	4	56	14.3	48.5
3	Spring Feeder	7	8	7	392	15.0	63.5
4	V-Belt	10	6	2	120	12.2	75.7
5	Screen Feeder	4	3	2	36	10.7	86.4
6	Lubrikasi Oli	7	3	5	105	5.7	92.2
7	Chut buangan Grinding Ball	2	3	4	24	3.7	95.8

Tabel 6. Lanjutan

No.	Equipment	Penilaian			Risk Priority Number	Presentase RPN (%)	Presentase Accumulative (%)
		S	O	D			
8	Rubber Skrit dan Rubber Rear Copper	3	1	4	12	2.4	98.3
9	Scrubber/Cleaner Head Pulley	1	1	5	5	1	83
10	Liner balance weight	7	3	7	147	17	100

Setelah dilakukan rekapitulasi hasil nilai RPN dapat diketahui nilai masing-masing *Part* dari yang terendah sampai yang tertinggi, sehingga dapat dilihat *part* yang memiliki nilai besar dan krusial dalam memengaruhi kerusakan pada mesin.

### 3.4. Hasil Analisa Pada Part Mesin Cone Crusher (CR02)

Setelah melakukan perhitungan nilai dengan rekapitulasi persentase RPN, didapat beberapa komponen dengan nilai tertinggi yang dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai persentase pada *spring feeder* 34,25%, *liner balance weight* 14,98%, *mantel cone* 14,27% , *v-belt* 12,23%, *lubrikasi oli* 10,70%, *return roller* dan *impact roller* 5,71%, *screen feeder* 3,67%, *chut buangan grinding ball* 2,45%, *Rubber skrit* dan *rubber rear copper* 1,22%, dan *scrubber/cleaner head pulley* 0,51% yang diurutkan dengan persentase tertinggi terlebih dahulu. Adapun *part* yang memiliki tingkat kerusakan tertinggi pada urutan pertama dan paling sering mengakibatkan *downtime* pada proses produksi di PT Natra Mining yaitu *mantel spring feeder* dengan nilai presentase 14,98%, selanjutnya *liner balance weight* dengan nilai presentasi 17,07%, kemudian diikuti *part-part* lainnya.

Selanjutnya dilakukan interpretasi hasil analisa perhitungan FMEA pada mesin Cone Crusher (CR02) di PT Natra Mining. Berikut ini analisa FMEA dan usulan perbaikan untuk permasalahan yang terjadi akibat losses pada mesin Cone Crusher (CR02). FMEA yang di peroleh dari nilai RPN dengan masing-masing *part* yang memiliki tingkat resiko paling tinggi terhadap mesin Cone Crusher (CR02) sehingga memerlukan perbaikan pada *part-part* yang ada didalam mesin tersebut. Maka dilakukanlah usulan perbaikan untuk permasalahan yang akan diselesaikan dengan menginterpretasi hasil dari nilai RPN yang tertinggi dan paling krusial, yaitu:

1. *Spring Feeder* patah (nilai RPN = 336)



Gambar 3. Steel Spring Patah  
Sumber: (Dokumen Perusahaan,2024)

*Spring feeder* pada *Cone Crusher* sering patah disebabkan oleh beberapa faktor utama yang berhubungan dengan getaran dan stres dinamis. Pertama, fenomena resonansi yang terjadi saat mesin dinyalakan atau dimatikan menyebabkan frekuensi getaran mendekati frekuensi alami pegas karena beban kejut (tidak ada beban berat dari material). Adanya beban kejut (getaran) yang cukup tinggi dari *vibrating screen* pada saat *running* (menghidupkan) dan *stop* (menghentikan). Ketika mesin dinyalakan atau dimatikan, perubahan cepat dalam kecepatan rotasi menghasilkan gaya inersia yang signifikan. Hal ini mengakibatkan resonansi dan amplitudo getaran yang sangat besar, menyebabkan stres berlebih pada pegas dan deformasi yang melampaui batas elastisitasnya. Kedua, perubahan kecepatan rotasi yang cepat saat start atau stop menghasilkan gaya inersia besar, memberikan beban dinamis tambahan yang dapat memicu kegagalan material pegas. Ketiga, material pegas mengalami keausan dan kerusakan mikrostruktural seiring waktu karena siklus pembebanan berulang menyebabkan kelelahan material (*fatigue*), dan akhirnya patah (Icelapa et al., n.d. 2023). Selain itu, desain dan pemasangan pegas yang tidak memadai juga berkontribusi pada kegagalan ini. Desain pegas yang tidak sesuai dengan karakteristik getaran mesin dan pemasangan yang salah menyebabkan distribusi beban tidak merata, meningkatkan risiko patah. Terakhir, kurangnya pemeliharaan rutin dan inspeksi kondisi pegas mengakibatkan tanda-tanda awal kelelahan atau kerusakan sering terlewatkan, sehingga pegas yang sudah aus atau rusak tidak diganti tepat waktu.

### 3.5. Analisa dan Pembahasan Usulan Perbaikan

Perhitungan *Six Big Losses* menunjukkan bahwa masalah utama yang mendominasi adalah *Equipment Failure/Breakdown*, mencapai nilai 46%. Masalah ini disebabkan oleh kerusakan pada peralatan yang mengakibatkan mesin mengalami kendala dalam proses operasinya, sehingga terjadi *Downtime*. Untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan pada losses ini, dilakukan analisis menggunakan metode FMEA dan menilai RPN berdasarkan *Severity*, *Occurance*, dan *Detection*. Hasilnya menunjukkan bahwa ada satu *part* yang paling krusial dalam menyebabkan *downtime*, yaitu *Spring Feeder* (RPN 336).

Berdasarkan tingkat kerusakan dari nilai RPN ini,

disusunlah usulan perbaikan untuk mencegah kerusakan yang berulang baik secara spesifik pada setiap *Part* maupun secara menyeluruh pada mesin *Cone Crusher* (CR02). Langkah-langkah ini diambil dengan tujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam ketersediaan waktu operasional mesin, terutama pada aspek *Availability* yang menjadi indikator dengan nilai terendah dalam OEE tersebut.

Usulan untuk perbaikan menyeluruh guna meningkatkan efektivitas pengoperasian mesin melibatkan analisis menggunakan metode 5W1H. Metode ini merupakan langkah penyelesaian masalah yang melibatkan jawaban atas pertanyaan 5W1H. Analisis dan pemecahan masalah akan dilakukan lebih mendalam melalui metode ini, dengan langkah-langkah perbaikan yang ditentukan berdasarkan tujuan yang ingin dicapai: What (apa yang harus dilakukan), Why (mengapa harus dilakukan), Where (dimana harus dilakukan), When (kapan harus dilakukan), Who (siapa yang akan melakukan atau bertanggung jawab), dan How (bagaimana cara melakukannya). Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi dan mengatasi berbagai cacat, baik variabel maupun atribut, dengan mempertimbangkan faktor manusia, metode kerja, lingkungan kerja, material, dan mesin. Setelah menganalisis setiap aspek ini, diharapkan pendekatan dalam menyelesaikan masalah akan lebih tepat dan efektif, sehingga hasil yang optimal dapat dicapai. Penjelasan usulan perbaikan mengenai masalah yang ada pada mesin *Cone Crusher* (CR02) melalui metode 5W1H, yaitu:

### 1. Faktor *Man* (Manusia)

Masalah yang terjadi adalah kelalaian operator dalam mengatur pengoperasian mesin salah satu contohnya lupa mematikan mesin ketika hujan turun, sudah mengetahui ada kejangalan seperti tanda-tanda kerusakan pada mesin tidak langsung melaporkan ke pimpinan (*Supervisor*) dan membiarkan mesin tetap beroperasi. Sehingga saran yang diberikan yaitu penting bagi operator untuk mempelajari dan memahami SOP pada area kerja. SOP ini diperlukan untuk memastikan bahwa operator yang mengoperasikan mesin menjalankan tugas mereka sesuai dengan peraturan, sehingga mesin dapat beroperasi dengan optimal [4].

### 2. Faktor *Machine* (Mesin)

Kendala pada faktor ini adalah mesin sering mengalami *breakdown* yang diakibatkan oleh beberapa masalah diantaranya *part* mesin *spring feder* patah, *liner* cepat aus dan baut *balance weight* menjadi kendur sehingga diperlukan pengecekan rutin pada *part-part* mesin baik secara visual maupun dengan alat bantu yang sesuai dengan keperluan. Sehingga saran yang diusulkan yaitu melakukan *preventive maintenance* yaitu dengan inspeksi

*part* mesin yang dapat dilakukan oleh operator dan dibantu oleh tenaga ahli seperti tim mekanik. *Preventive maintenance* merupakan praktik yang dilakukan oleh perusahaan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan mesin atau alat dengan meningkatkan aktivitas inspeksi dan perbaikan sesuai jadwal yang telah direncanakan [5]

### 3. Faktor *Method* (Metode)

Kemudian permasalahan untuk faktor ini yaitu tidak ada SOP (*Standard Operational Procedur*) kerja. Saran perbaikannya yaitu dengan membuat SOP yang sesuai pada area kerja. *Standard Operational Procedur* (SOP) berperan dalam menciptakan sistem dan alur kerja yang terstruktur, tertata, dan dapat dipertanggungjawabkan, sehingga mengurangi kesalahan dalam pekerjaan [6]. Selain itu, SOP juga menjelaskan tujuan pekerjaan yang dilaksanakan sesuai dengan kebijakan Perusahaan. Maka dari itu penting untuk setiap area kerja atau pengoperasian mesin ada SOP. Pengoperasian mesin yang tidak mengikuti prosedur standar dapat menyebabkan kesalahan dalam pengoperasian dan berakibat fatal [7].

### 4. Faktor *Material* (Material)

Faktor ini disebabkan karena adanya material ber lumpur, *scat* atau material yang seharusnya berbentuk kerikil bukan lumpur. Namun seringkali didapati material *scat* tersebut menyatu pada tanah yang ber lumpur sehingga mempersulit proses pemecahan material dan mengakibatkan mesin *block* (mengalami penyumbatan pada aliran material). Adapun saran yang diberikan yaitu memastikan material sebelum di produksi dalam keadaan kering dan melakukan pembersihan material sebelum masuk kedalam *Cone Crusher* (CR02). Hal ini sesuai dengan saran yang diberikan oleh Hargo (2013) dalam penelitiannya ketika bahan baku atau material dalam keadaan kotor atau tidak sesuai dengan keadaan seharusnya, harus dilakukan perbaikan dengan membersihkan material terlebih dahulu [8].

### 5. Faktor *Enviroment* (Lingkungan)

Pada permasalahan ini mengenai faktor cuaca sulit di prediksi dapat mempengaruhi proses produksi dimana posisi mesin berada di area terbuka dan pada saat hari hujan mesin *Cone Crusher* (CR02) seharusnya tidak beroperasi atau dimatikan. Namun aktualnya pada saat hujan operator sering telat atau lalai untuk mematikan mesin tersebut sehingga pada saat hujan air dengan mudah masuk kedalam tanki *lubrikasi oli* melalui sela-sela mesin yang beroperasi dan mengakibatkan oli terkontaminasi dengan air. Adapun usulan yang diberikan yaitu operator harus disiplin mematikan mesin produksi sebelum hujan turun

dan ada baiknya memuat aturan tersebut dalam SOP sebagai panduan bagi operator bekerja sesuai dengan ketentuan yang terlampir dan terarah. [9].

Selain itu, untuk meningkatkan efektivitas mesin *Cone Crusher* (CR02) secara detail pada *Part* mesin yang paling sering mengakibatkan mesin *Downtime*. Maka, akan diberikan usulan perbaikan berdasarkan permasalahan yang terjadi secara aktual di lapangan. Adapun *part* dengan nilai RPN tertinggi yaitu *spring feeder* 34,25%. Berikut usulan perbaikan yang diberikan :

### 1. Usulan Perbaikan pada *Spring feeder*

Usulan perbaikan pada *spring feeder* merupakan langkah krusial dalam meningkatkan kehandalan dan efisiensi operasional *Cone Crusher* (CR02). Perbaikan ini bertujuan untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan pegas pada alat pengumpan, yang sering mengalami kerusakan akibat beban dinamis yang tinggi saat start dan stop mesin [10]. Langkah-langkah pencegahan yang dapat diambil untuk mengurangi risiko patahnya pegas meliputi, desain dan pemilihan material yang sesuai pada pegas atau melakukan *improvement redesign* penggunaan material pegas, inspeksi rutin, pemasangan yang benar, serta pengaturan kecepatan yaitu jangan di start ketika kondisi material kosong. Pada *improvement redesign* pegas diusulkan penggantian material pegas dari *steel spring* (*Part A*) menjadi *composite rubber spring* (*Part B*) dengan spesifikasi sebagai berikut.

**Tabel 7.** Kriteria Part A dan Part B

Kriteria	Part A	Part B
Spesifikasi	Steel Spring	Composite rubber spring
Outher (D)	150 mm	150 mm
Inner (d)	100 mm	62 mm
Height (H)	270 mm	270 mm
Beban dinamis	1,2 Ton	1,8 Ton
Harga	Rp 2.400.000,00	Rp 1.200.000,00

*Steel spring* dan *composite rubber spring* memiliki perbedaan signifikan dalam beberapa hal. *Steel spring* terbuat dari baja yang kuat dan tahan lama, dengan kekerasan dan kekuatan yang tinggi sehingga mampu menahan beban berat [11].



**Tabel 6.** *Steel Spring* dan *Composite Rubber*  
Sumber: (Data Perusahaan, 2024)

Meskipun memiliki elastisitas yang tinggi, batas elastisitasnya lebih rendah dibandingkan *composite rubber* [12]. Dalam kondisi getaran, *steel spring* memiliki respons yang kaku, memantulkan getaran dengan cepat sehingga efisiensi dalam meredam getaran kurang baik namun memberikan stabilitas yang tinggi, cenderung menyebabkan lebih banyak getaran balik. Dalam hal performa dan ketahanan, *steel spring* tahan terhadap beban berat dan siklus pembebanan berulang, tetapi rentan terhadap kelelahan material dan korosi, memerlukan perawatan rutin untuk menghindari karat dan keausan [13]. Sebaliknya, *composite rubber spring* terbuat dari spring besi yang ditutupi oleh rubber, lebih lembut dan fleksibel dibandingkan baja, dengan elastisitas yang sangat tinggi sehingga mampu meregang dan kembali ke bentuk semula lebih efektif [14]. *Composite rubber spring* sangat efisien dalam menyerap dan meredam getaran, mengurangi getaran yang diteruskan ke struktur, memberikan stabilitas yang baik dengan kemampuan meredam getaran lebih efektif, mengurangi risiko kerusakan akibat getaran [15]. Ketahanannya terhadap korosi dan sebagian besar bahan kimia membuatnya lebih tahan terhadap kelelahan material, serta memerlukan perawatan yang lebih sedikit dibandingkan *steel*, meski perlu pemeriksaan berkala untuk keausan material. Pada penjabaran perbedaan antara dua *Part* tersebut dengan memperhatikan permasalahan yang sering terjadi di lapangan atau aktualnya maka penggunaan *composite rubber spring* lebih cocok untuk digunakan, dilihat dari *lifetime* aktual *composite rubber spring* lebih lama dibandingkan dengan *spring feeder* berdasarkan data *downtime* yang terjadi umur pakai terpendek pada *spring feeder* berbahan steel yaitu 6-9 hari pakai langsung patah, sedangkan *composite rubber* pada masa trialnya dari tanggal 13 juni 2024 sampai sekarang, belum ada tanda kerusakan [16]. Dari segi harga pun *spring feeder* berbahan steel lebih mahal dua kali lipat [17] dibandingkan dengan harga *composite rubber* [18]. Sehingga saran ini dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan pada mesin *Cone Crusher* (CR02). Berikut pada Tabel 8 dapat dilihat perbandingan harga jika dilakukan perhitungan berdasarkan umur pakai dan daftar harga pembelian barang.

**Tabel 8. Rekapitulasi RPN**

Keterangan	Steel Spring (Part Lama)	Composite Rubber (Part Baru)
Harga	Rp 2.400.000	Rp 1.200.000
Umur Pakai	6-9 Hari	30 Hari
Biaya Per Hari	Rp 400.000	Rp 40.000
Penghematan Per Hari	Rp	360.000
Penghematan Total 30 Hari	Rp	10.800.000
Penghematan Harga		50%

Setelah dilakukan perbandingan harga, didapatkan keuntungan penggantian *Part* dari *Steel Spring* ke *Composite Rubber* yaitu 50%. Penghematan per hari yang didapat bernilai Rp 360.000, pembelian untuk *Composite Rubber* lebih murah dibandingkan *Steel Spring* sehingga perusahaan dapat menghemat pembelian *part* 50% dibandingkan *part* lama. Penghematan ini dapat menjadi bahan pendukung pertimbangan dari faktor biaya selain dilihat dari faktor material untuk digunakan secara *continue* pada mesin *Cone Crusher* (CR02) di PT Natra Mining.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan nilai OEE dan hasil analisis dari FMEA, solusi yang diberikan untuk nilai RPN pada *part* mesin yang krusial adalah dengan mengganti bagian *part* pada mesin *Cone Crusher* (CR02). Salah satu *part* yang krusial dan perlu diganti adalah *Spring Feeder* dengan RPN 336. Penggantian *Spring Feeder* dari *Steel Spring* menjadi *Composite Rubber* adalah upaya pemeliharaan pada komponen mesin serta dapat membantu penghematan biaya perawatan menjadi 50%. Selain itu, usulan lain yang dibutuhkan di PT Natra Mining adalah *Standard Operational Procedure* (SOP). SOP dibuat dengan cara mengidentifikasi tujuan dan ruang lingkup, mengumpulkan informasi yang relevan, menulis *draft* SOP, memngulas dan merevisi, menguji coba dan memvalidasi, finalisasi dan persetujuan, pelatihan dan sosialisasi, implementasi dan monitoring, serta evaluasi dan pembaruan secara berkala. Setelah menerapkan usulan tersebut, diharapkan dapat meningkatkan efektivitas operasional dan mengurangi *downtime* pada mesin *Cone Crusher* (CR02) di PT Natra Mining.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Saefullah, "Implementasi Prinsip Pareto Dan Penentuan Biaya Usaha Seblak Naha Rindu Kemajuan usaha saat ini ditandai dengan kompetisi usaha yang bersaing . Para pelaku usaha dituntut inovasi dalam menjalankan usaha agar mampu berkelanjutan yang berdampak kepada perub," pp. 1–13, 2021.

[2] P. Icelapa, S. A. Wit, and T. Akhir, "ANALISA KERUSAKAN BAUT PENGIKAT VIBRATING SCREEN PADA PABRIK PENGOLAHAN ICELAPA SA WIT AKIBAT PENYEBABAN FATIK".

[3] P. A. Wibowo and I. Padilah, "Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Six Big Losses Pada Mesin Length Adjustment Line 3 Departemen Belt Assy PT XYZ," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 439–449, 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i2.2236.

[4] H. Batubara and D. Rachmawati, "Analisis Kinerja Persiapan Kedatangan Pesawat Lion Air oleh Petugas Ramp Handling di Ramp Side Bandar Udara Internasional Supadio Pontianak Kalimantan Barat," *J. Kewarganegaraan*, vol. 6, no. 2, pp. 5266–5273, 2022.

[5] Mohamad Rofiq and Ilham Akbar Darmawan, "Preventive Maintenance Electrical C-2B Belt Conveyor Di Pt. Indonesia Power Pltu Banten 3 Lontar Omu," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 87–100, 2022, doi: 10.58169/saintek.v1i2.81.

[6] V. M. Wahyuni, Mattoasi, "Penerapan Sistem Pengendalian Intern Pemerintah (Spip) Dan Standar Operasional Prosedur (Sop) Terhadap Pencegahan Fraud Pada Pengelolaan Dana Desa (Studi Pada Desa Di Kecamatan Wanggarasi Kabupaten Pohuwato)," *J. Econ. Digit. Bus. Rev.*, vol. 5, no. 1, pp. 275–287, 2023.

[7] K. P. Sesai, K. D. Barat, and K. Dumai, "Pengembangan standar operasional prosedur pengoperasian mesin pendingin pada kapal penangkap ikan development of standard operating procedures for operating refrigeration machinery on fishing vessels," vol. 6, no. April, pp. 123–136, 2024.

[8] U. Hasdiana, "No Title," *Anal. Biochem.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2018.

[9] J. Setiawati and T. Arianto, "The Effect Of Standard Operating Procedures ( SOP ) And Work Environment On Employee Work Productivity At PT . Agro Perak Sejahtera North Bengkulu Pengaruh Standar Operasional Prosedur ( SOP ) Dan Lingkungan Kerja Terhadap Produktivitas Kerja Karyawan Pad," vol. 4, no. 1, pp. 77–86, 2024.

[10] Y. Widiastuti, F. Dzar, and E. Latief, "Analisis Eksperimen Penentuan Konstanta Pegas Menggunakan Metode Statis, Dinamis, Aplikasi Phypox dalam Pembelajaran Fisika," *Proceeding Semin. Nas. IPA*, pp. 1–11, 2022, [Online]. Available: <https://proceeding.unnes.ac.id/snipa/article/view/1330>

[11] J. Smith, "Mechanical Properties of Steel Springs," *J. Mech. Eng.*, 2020.

[12] D. I. Sakti *et al.*, "Studi Perbandingan Investigasi Modulus Elastisitas Antara Metode Uji Tarik dengan Metode Indentasi Pada Material Styrene BUTADIENE RUBBER 25 (SBR-25)," *J. Tek. Mesin S-I*, vol. 11, no. 2, pp. 147–156, 2023.

[13] M. Tegar and E. Sutoyo, "Analisis Kegagalan Spring Washer Material Sk-5 Lapisan Electroplating Zinc," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, p. 53, 2019, doi: 10.32832/ame.v5i2.2471.

[14] H. Handayani, A. Cifriadi, A. S. Handayani, M. Chalid, R. Herlina, and S. Savetlana, "Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Karet Alam/Selulosa Dengan Variasi Jenis Selulosa," *J. Penelit. Karet*, vol. 36, no. 2, pp. 173–182, 2020, doi: 10.22302/ppk.jpk.v36i2.582.

[15] M. Jones and K. Lee, "Vibration Damping in Composite Materials," *Adv. Mater. Sci.*, 2021.

[16] Nasruddin, "Sifat Mekanik Rubber Waves dari Komposit Karet Alam dan Karet Sintesis Menggunakan Multi Filler SIFAT MEKANIK RUBBER WAVES DARI KOMPOSIT KARET

- ALAM DAN KARET SINTESIS MENGGUNAKAN  
MULTI FILLER MECHANICAL PROPERTIES OF  
RUBBER WAVES FROM COMPOSITE,” *J. Din.  
Penelit. Ind.*, vol. 29, no. 1, pp. 35–45, 2020.
- [17] Y. Mardianzah and Mudjijanto, “Uji Eksperimen Heat Treatment Baja Pegas Dengan Variasi Media Pendinginan Terhadap Sifat Mekanis,” *J. Mek. Energi*, vol. 2, no. 1, pp. 9–15, 2022.
- [18] N. D. Rinojati and A. Rouf, “Analisis finansial penggunaan teknologi stimulan gas etilen pada kondisi harga karet yang dinamis,” *War. Perkaretan*, vol. 39, no. 1, pp. 73–84, 2020.