

**SKRIPSI**

**ANALISIS FAKTOR PENGARUH PENCAPAIAN PRODUKSI  
NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN *FAILURE MODE  
EFFECT ANALYSIS* DI PT CERIA NUGRAHA  
INDOTAMA, SULAWESI TENGGARA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**RM. ALIFUDDIN PURNOMO KAHAR  
D111 18 1002**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS FAKTOR PENGARUH PENCAPAIAN PRODUKSI  
NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN *FAILURE MODE  
EFFECT ANALYSIS* DI PT CERIA NUGRAHA  
INDOTAMA, SULAWESI TENGGARA**

Disusun dan diajukan oleh

**RM. Alifuddin Purnomo Kahar  
D111 18 1002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 06 Oktober 2023.  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

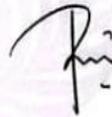
Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

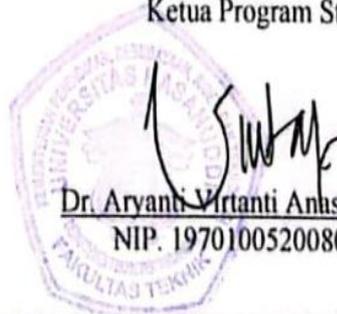


Dr. Aryanti Virtanti Ahas, S.T., M.T.  
NIP. 197010052008012026



Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T. M.BA., M.T  
NIP. 198311142014042001

Ketua Program Studi,

Dr. Aryanti Virtanti Ahas, S.T., M.T.  
NIP. 197010052008012026

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : RM. Alifuddin Purnomo Kahar

NIM : D111181002

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Analisis Faktor Pengaruh Pencapaian Produksi Nikel Laterit Menggunakan *Failure Mode Effect Analysis* di PT Ceria Nugraha Indotama, Sulawesi Tenggara }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 06 Oktober 2023

Yang Menyatakan



RM. Alifuddin Purnomo Kahar

## ABSTRAK

**RM. ALIFUDDIN PURNOMO KAHAR.** *Analisis Faktor Pengaruh Pencapaian Produksi Nikel Laterit Menggunakan Failure Mode Effect Analysis di PT Ceria Nugraha Indotama, Sulawesi Tenggara* (dibimbing oleh Aryanti Virtanti Anas dan Rini Novrianti Sutardjo Tui).

PT Ceria Nugraha Indotama merupakan perusahaan tambang yang bergerak pada penambangan bijih nikel laterit dengan luas IUP 6.785 hektar pada Blok Lapapao dan secara administrasi beroperasi di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Perusahaan memiliki target produksi yang akan dicapai, sehingga diperlukan analisis untuk mengetahui dan mengurangi faktor kegagalan/hambatan tercapainya produksi yang optimal. Produktivitas alat dan jam kerja efektif adalah parameter yang digunakan pada penelitian ini untuk mengidentifikasi pengaruhnya terhadap produksi nikel laterit. Penelitian ini menggunakan analisis FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) dalam mengidentifikasi dan menentukan rencana rekomendasi perbaikan dengan keluaran berupa nilai *Risk Priority Number* (RPN). Klasifikasi mode kegagalan untuk tingkat produktivitas alat berdasarkan nilai RPN adalah batuan yang menutupi badan bijih dengan nilai RPN sebesar 320 dan untuk jam kerja efektif adalah kondisi *slippery* dengan total nilai RPN 700. Rekomendasi perbaikan yang dapat diberikan adalah menambah jumlah unit support berupa grader dan bulldozer untuk mendorong (*scraft*) lumpur yang terdapat pada MHR untuk mengurangi tingkat *slippery*, dan menambah jumlah unit support berupa excavator breaker untuk menghancurkan material berbatu agar memudahkan proses penambangan (*ore getting*) dilakukan.

Kata Kunci: Produksi, Mode Kegagalan, FMEA, RPN

## **ABSTRACT**

**RM. ALIFUDDIN PURNOMO KAHAR.** *Analysis of Factors Affecting Nickel Laterite Production Achievement Using Failure Mode Effect Analysis At Pt Ceria Nugrahaindotama , Southeast Sulawesi (supervised by Aryanti Virtanti Anas and Rini Novrianti Sutardjo Tui).*

*PT Ceria Nugraha Indotama is a mining company engaged in mining laterite nickel ore with an IUP area of 6,785 hectares in the Lapapao Block and administratively operates in Wolo District, Kolaka Regency, Southeast Sulawesi Province. The company has a production target to be achieved, so analysis is needed to determine and reduce failure factors / obstacles to achieving optimal production. Tool productivity and effective working hours were parameters used in this study to identify their effect on laterite nickel production. This study uses FMEA (Failure Mode Effect Analysis) analysis in identifying and determining improvement recommendation plans with outputs in the form of Risk Priority Number (RPN) values. The classification of failure modes for tool productivity levels based on RPN values is rocky material conditions with an RPN value of 320 and for effective working hours is slippery conditions with a total RPN value of 700. Improvement recommendations that can be given are to increase the number of support units in the form of graders and bulldozers to push (scraft) the mud contained in the MHR to reduce the slippery rate, and increase the number of support units in the form of excavator breakers to blow rocky material to facilitate the mining process (ore getting) is carried out.*

*Keywords: Production, failure mode, FMEA, RPN*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	viii
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Ruang Lingkup .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Jam Kerja .....	4
2.2 <i>Effective Working Hours</i> .....	6
2.3 Efisiensi .....	8
2.4 Pola Pemuatan .....	10
2.5 Faktor Pengisian ( <i>Bucket Fill Factor</i> ) .....	13
2.6 Faktor Pengembangan ( <i>Swell Factor</i> ) .....	14
2.7 Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut .....	15
2.8 Ketersediaan Alat Gali Muat dan Alat Angkut .....	17
2.9 <i>Match Factor</i> (Faktor Keserasian) .....	18
2.10 Diagram <i>Fishbone</i> .....	19
2.11 <i>Risk Priority Number</i> .....	22
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	27
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	27
3.2 Variabel Penelitian .....	28
3.3 Teknik Pengumpulan Data .....	28
3.4 Teknik Analisis Data .....	29
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	32
4.1 Waktu Kerja Efektif ( <i>Effective Working Hours</i> ) .....	32
4.2 Waktu Edar Alat Gali Muat ( <i>Excavator</i> ) .....	33
4.3 Waktu Edar Alat Angkut ( <i>Dump Truck</i> ) .....	34
4.4 Faktor Pengisian ( <i>Bucket Fill Factor</i> ) .....	35
4.5 Faktor Pengembangan ( <i>Swell Factor</i> ) .....	35
4.6 Ketersediaan Alat Mekanis .....	36
4.7 Efisiensi Alat Gali Muat dan Alat Angkut .....	38
4.8 Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut .....	39
4.10 Faktor Keserasian Alat Mekanis ( <i>Match Factor</i> ) .....	42
4.11 Diagram <i>Fishbone</i> .....	43
4.12 Analisis FMEA ( <i>Failure Mode Effect Analysis</i> ) .....	54
4.13 Rekomendasi Perbaikan .....	65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	66
5.1 Kesimpulan .....	66
5.2 Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA .....	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pola pemuatan <i>top loading</i> dan <i>bottom loading</i> .....	11
Gambar 2 Pola pemuatan berdasarkan jumlah penempatan alat angkut.....	12
Gambar 3 Pola pemuatan <i>frontal cut paralel</i> dan <i>cut with drive by</i> .....	13
Gambar 4 diagram alir pembentukan tingkat risiko pada analisis FMEA.....	22
Gambar 5 Peta IUP PT Ceria Nugraha Indotama .....	27
Gambar 6 Bagan alir penelitian.....	31
Gambar 7 Kegiatan produksi bijih nikel di <i>Pit A</i> .....	32
Gambar 8 Kondisi <i>slippery</i> pada <i>mining hauling road</i> .....	45
Gambar 9 Batuan yang menutupi badan bijih pada <i>pit</i> penambangan.....	46
Gambar 10 Kepala ikan diagram <i>fishbone</i> .....	48
Gambar 11 Sirip ikan diagram <i>fishbone</i> .....	48
Gambar 12 Tulang ikan diagram <i>fishbone</i> .....	49
Gambar 13 Penyebab primer pada diagram <i>fishbone</i> .....	50
Gambar 14 Penyebab sekunder pada diagram <i>fishbone</i> .....	51
Gambar 15 Penyebab tersier pada diagram <i>fishbone</i> . .....	51
Gambar 16 Diagram batang <i>risk priority number</i> produktivitas alat. ....	55
Gambar 17 Diagram batang <i>risk priority number effective working hours</i> .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai BFF berdasarkan kondisi penggalian .....	14
Tabel 2 Nilai <i>swell factor</i> .....	14
Tabel 3 Penilaian kriteria <i>severity</i> pada analisis FMEA .....	24
Tabel 4 Penilaian kriteria <i>occurance</i> pada analisis FMEA .....	25
Tabel 5 Penilaian kriteria <i>detection</i> pada analisis FMEA .....	25
Tabel 6 Jam kerja alat mekanis bulan oktober .....	33
Tabel 7 <i>Cycle time excavator</i> .....	33
Tabel 8 <i>Cycle time dump truck</i> .....	34
Tabel 9 <i>Bucket fill factor</i> .....	35
Tabel 10 Ketersediaan alat <i>excavator</i> (EX-201) .....	36
Tabel 11 Ketersediaan alat <i>dump truck</i> (DT-01) .....	36
Tabel 12 Ketersediaan alat <i>dump truck</i> (DT-02) .....	37
Tabel 13 Ketersediaan alat <i>dump truck</i> (DT-03) .....	37
Tabel 14 Ketersediaan alat <i>dump truck</i> (DT-07) .....	38
Tabel 15 Efisiensi kerja <i>excavator</i> .....	38
Tabel 16 Efisiensi kerja <i>dump truck</i> .....	39
Tabel 17 Hasil perhitungan produktivitas <i>excavator</i> .....	40
Tabel 18 Hasil perhitungan produktivitas <i>dump truck</i> .....	42
Tabel 19 Kebutuhan unit <i>dump truck</i> .....	43
Tabel 20 <i>Risk priority number</i> produktivitas alat .....	54
Tabel 21 <i>Risk priority number effective working hours</i> .....	56
Tabel 22 FMEA konvensional produktivitas alat .....	57
Tabel 23 FMEA konvensional <i>effective working hours</i> .....	63

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Aa	Waktu mengatur posisi pemuatan
Am	Waktu penggalian muatan
Ba	Waktu pengisian muatan
Bm	Waktu ayunan muatan
BCM	<i>Bank Cubic Meter</i>
BFF	<i>Bucket fill factor</i>
C	Produksi setiap siklus
Ca	Waktu mengangkut muatan
Ct	<i>Cycle time</i>
Cm	Waktu menumpahkan muatan
CL	<i>Cycle time alat gali muat</i>
CT	<i>Cycle time alat gali angkut</i>
D	<i>Detection</i>
Da	Waktu mengatur posisi penumpahan muatan
Dm	Waktu ayunan kosong
E	Efisiensi
Ea	Waktu menumpahkan muatan
EWH	<i>Effective working hours</i>
Fa	Waktu kembali kosong
FMEA	<i>Failure mode effect analysis</i>
Ga	Waktu menunggu pemuatan
MA	<i>Mechanical availability</i>
MF	<i>Match factor</i>
N	Jumlah pengisian <i>bucket</i>
NL	Jumlah alat gali muat
NT	Jumlah alat angkut
O	<i>Occurance</i>
PA	<i>Physical availability</i>
R	<i>Repair hours</i>

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
RPN	<i>Risk priority number</i>
S	<i>Severity</i>
S	<i>Standby hours</i>
SF	<i>Swell factor</i>
Uoa	<i>Use of availability</i>
W	<i>Working hours</i>
Wke	Waktu kerja efektif
Whd	Waktu hambatan dapat dihindari
Whdt	Waktu hambatan tidak dapat dihindari
Wkt	Waktu kerja tersedia

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta lokasi penelitian.....	71
Lampiran 2 Peta jalur produksi bijih nikel pada <i>Pit A</i> .....	73
Lampiran 3 <i>Cycle time</i> alat gali muat. ....	75
Lampiran 4 <i>Cycle time</i> alat angkut.....	78
Lampiran 5 Kuisisioner penelitian.....	81
Lampiran 6 <i>Risk priority number</i> produktivitas alat .....	84
Lampiran 6 <i>Risk priority number effective working hours</i> . ....	86

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala* yang tak hentinya memberikan rahmat serta karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini. Shalawat serta salam tak lupa dihaturkan kepada Nabi Muhammad *Sallallahu 'Alaihi Wasallam*, manusia terbaik yang merupakan sosok teladan terbaik bagi umat manusia.

Laporan Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan jenjang sarjana pada Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Banyak rintangan yang dihadapi dalam proses penyusunan laporan ini, maka dari itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PT Ceria Nugraha Indotama yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk melaksanakan penelitian Tugas Akhir.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Agus Satria selaku Manajer Departemen *Mine Technical Service* sekaligus pembimbing lapangan, Kak Resa Rifal Praditia, Kak Sigit Ilham Umar, Kak Inggit Mayangsari Lukman, Kak Faruq, Kak Yuliana, Kak Noviana Tonapa, Kak Tahir, dan Kak Lukman serta seluruh MTS-Team yang telah memberikan banyak arahan dan telah berbagi ilmu serta pengalaman selama penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir.

Terima kasih penulis kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Pertambangan, Kepala Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang sekaligus selaku Pembimbing Utama, dan Ibu Dr. Eng. Rini Novrianti Sutardjo Tui, S.T., M.BA., M.T. selaku Pembimbing Pendamping penelitian Tugas Akhir, serta Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T. dan Ibu Rizki Amalia, S.T., M.T. selaku dosen penguji, seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin.

Terima kasih penulis ucapkan kepada keluarga besar Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin Angkatan 2018, rekan-rekan seperjuangan di Laboratorium Perencanaan dan Valuasi Tambang, rekan-rekan kepengurusan IKAB-KIP UNHAS Periode 2020 dan Periode 2021 yang telah memberikan banyak motivasi serta dukungan kepada penulis selama berkuliah di Universitas Hasanuddin.

Terima kasih penulis ucapkan kepada RM. Abdi Purnomo dan Masyita selaku kedua orang tua beserta keluarga dan sahabat yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan semangat kepada penulis hingga tahap ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat serta dapat menambah wawasan bagi penulis maupun pembaca dalam bidang ilmu Teknik Pertambangan khususnya analisis pengaruh pencapaian produksi nikel laterit.

Gowa, Agustus 2023

RM. Alifuddin Purnomo Kahar

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT Ceria Nugraha Indotama merupakan perusahaan pertambangan bijih nikel yang melakukan penambangan di Kecamatan Wolo, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara. Sistem penambangan yang diterapkan PT Ceria Nugraha Indotama adalah sistem tambang terbuka (*surface mining*) dengan metode *open cut/open cast* yang merupakan bentuk penambangan untuk endapan bijih yang terletak pada lereng bukit. Penambangan bijih (*ore getting*) merupakan kegiatan penggalan material untuk mengambil bahan tambang yang bernilai ekonomis atau sering disebut bijih (*ore*) setelah dilakukan beberapa tahap sebelumnya.

PT Ceria Nugraha Indotama memiliki beberapa *front* penambangan, salah satunya adalah *Pit A*. Proses produksi bijih nikel laterit di *Pit A* menggunakan satu unit *excavator* Caterpillar PC 200 dan empat unit *dump truck* tipe Quester CWE 370. Pada bulan September, perusahaan mencapai produksi bijih nikel sebesar 36.214,14 ton dari target produksi sebesar 23.085 ton, sedangkan pada bulan Oktober perusahaan mencapai produksi sebesar 40.020,84 ton dari target produksi sebesar 37.223,89 ton. Hal ini menunjukkan bahwa selisih produksi aktual terhadap target produksi pada bulan September lebih besar daripada bulan Oktober dengan selisih sebesar 10.332,19 ton. Produksi alat berat menjadi rendah karena dipengaruhi oleh jam kerja efektif dan rendahnya tingkat produktivitas alat (Octova dan Mahesa, 2021). Masalah-masalah yang terjadi menyebabkan waktu kerja efektif dan produktivitas alat tidak maksimal baik dari faktor manusia, alat maupun kondisi di lapangan sehingga mempengaruhi pencapaian produksi.

Salah satu upaya untuk mencapai hasil produksi yang optimal adalah perlunya tahap manajemen masalah yang baik. Kegiatan perencanaan tambang sama halnya dengan perencanaan dalam manajemen operasional yang terdiri dari beberapa tahapan, yaitu analisis situasi, penentuan prioritas masalah, identifikasi penyebab masalah, penentuan solusi terbaik dan implementasi. Diagram *fishbone* atau diagram sebab-akibat adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk

mengidentifikasi penyebab potensial dari suatu masalah untuk menemukan akar penyebab masalah yang dapat mempengaruhi pencapaian atau hasil dari sebuah sistem atau proses (Wong, 2011). Diagram ini membantu dalam mengidentifikasi berbagai faktor penyebab masalah yang terkait dengan berbagai aspek produksi, seperti manusia, mesin, bahan baku, metode, pengukuran, dan lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis setiap kegagalan yang diakibatkan oleh setiap faktor masalah adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). FMEA adalah sebuah metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kemungkinan kegagalan pada sebuah sistem, produk, atau proses, serta dampak yang mungkin terjadi akibat kegagalan tersebut (Stamatis, 2019). Untuk mengidentifikasi kegagalan yang terjadi dapat dilakukan dengan memberikan nilai atau skor pada setiap mode atau jenis kegagalan yang ada berdasarkan tingkatannya baik secara kejadian, keparahan hingga tingkat deteksi dari kegagalan tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis faktor yang paling berpengaruh terhadap pencapaian produksi nikel laterit berdasarkan parameter produktivitas alat dan *effective working hours* menggunakan *failure mode effect analysis*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Produksi yang optimal merupakan target yang ingin dicapai oleh perusahaan. Beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan adalah produktivitas alat untuk memaksimalkan kinerja alat mekanis agar menunjang hasil produksi dan *effective working hours* agar alat bekerja secara maksimal dalam jam kerja yang tersedia. Kendala-kendala yang terjadi di lapangan sangat mempengaruhi pencapaian produksi, sehingga perlu dilakukan analisis terhadap faktor yang paling berpengaruh terhadap pencapaian produksi.

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Faktor apa saja yang mempengaruhi pencapaian produksi nikel laterit dari parameter tingkat produktivitas alat dan *effective working hours*.
2. Faktor apa yang paling berpengaruh terhadap pencapaian produksi nikel laterit dari parameter tingkat produktivitas alat dan *effective working hours*.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi pencapaian produksi nikel laterit dari parameter tingkat produktivitas alat dan *effective working hours*.
2. Menentukan faktor yang paling berpengaruh terhadap pencapaian produksi nikel laterit dari parameter tingkat produktivitas alat dan *effective working hours*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai referensi dan bahan masukan bagi perusahaan terkait faktor yang paling berpengaruh terhadap pencapaian produksi nikel laterit dari parameter tingkat produktivitas alat dan *effective working hours* untuk lebih memperhatikan kendala atau hambatan yang dapat mempengaruhi pencapaian produksi nikel laterit serta sebagai referensi dan bahan literatur terkait faktor pencapaian produksi, produktivitas alat dan *effective working hours* khususnya dalam menunjang pencapaian produksi yang lebih optimal.

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup pada penelitian ini berfokus pada dua parameter yang berpengaruh terhadap pencapaian produksi nikel laterit yaitu tingkat produktivitas alat dan *effective working hours* pada proses produksi bijih nikel di *Pit A PT Ceria Nugraha Indotama* pada bulan Oktober tahun 2022.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jam Kerja

Jam kerja adalah waktu kerja sesungguhnya yang digunakan pada operasi penambangan. Waktu kerja terdiri dari *delay time* dan *cycle time*.

#### 1. *Delay Time*

*Delay time* merupakan besar waktu hambatan yang terjadi selama satu siklus pengangkutan. *Delay time* juga dianggap *operating cost* dan digunakan dalam perhitungan produktivitas alat karena *delay time* merupakan salah satu komponen *hours worked*. Selain itu terdapat waktu-waktu yang harus diperhitungkan seperti waktu alat antre ataupun waktu yang digunakan untuk merapikan dan menyiapkan *front*, operator minum, operator makan, operator sholat dan waktu hambatan lainnya sehingga total waktu *delay* adalah jumlah seluruh waktu hambatan yang terjadi selama alat tersebut bekerja (Yanto, 2005).

Waktu *delay* sangat penting pengaruhnya terhadap efisiensi kerja alat karena waktu *delay* menjadi variabel dalam perhitungan total waktu kerja yang dapat dilakukan selama alat tersebut beroperasi. Semakin kecil waktu *delay* maka akan semakin besar efisiensi alat tersebut.

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya *delay time* sebagai berikut (Yanto, 2005):

#### a. Faktor material

Perbedaan kekerasan material yang akan digali sangat bervariasi semakin keras material maka waktu yang diperlukan untuk menggali material juga lama. Hal ini bisa menyebabkan terjadinya antian pada *front* kerja.

#### b. Faktor manusia

Faktor manusia adalah mengerakkan alat-alat tersebut, waktu *delay* bisa terjadi karena kelalaian dari operator tersebut dalam bekerja. *Delay time* yang terjadi karena disebabkan oleh faktor ini bisa kita hindari dengan cara meningkatkan kedisiplinan dari operator alat angkut tersebut.

c. Faktor lingkungan

Faktor ini merupakan faktor yang berkaitan dengan kondisi lingkungan di lapangan, jika lingkungan kerja buruk maka akan terjadi waktu hambatan untuk alat tersebut beroperasi. Contohnya jika terjadi penyempitan pada satu sisi jalan saja maka akan terjadi antrean pada alat angkut tersebut.

2. *Cycle Time*

Waktu edar merupakan waktu yang digunakan oleh alat mekanis untuk melakukan satu siklus kegiatan (Almeida dan Alves, 2012). Lamanya waktu edar dari alat-alat mekanis akan berbeda antara material yang satu dengan material yang lainnya. Hal ini tergantung dari jenis alat dan jenis serta sifat dari material yang ditangani.

a. Waktu edar alat gali muat

Waktu edar alat gali muat merupakan penjumlahan dari waktu penggalian muatan, waktu ayunan bermuatan, waktu untuk menumpahkan muatan, dan waktu ayunan kosong. Waktu edar alat gali muat ditunjukkan pada Persamaan 1 (Almeida dan Alves, 2012):

$$C_t = A_m + B_m + C_m + D_m \quad (1)$$

dimana,

$C_t$  = waktu edar alat gali muat (detik)

$A_m$  = waktu untuk penggalian muatan (detik)

$B_m$  = waktu ayunan muatan (detik)

$C_m$  = waktu untuk menumpahkan muatan (detik)

$D_m$  = waktu ayunan kosong (detik)

b. Waktu edar alat angkut

Waktu edar alat angkut merupakan penjumlahan dari waktu mengatur posisi untuk siap dimuat, waktu menunggu untuk dimuat, waktu pengisian muatan, waktu mengangkut muatan, waktu mengambil posisi untuk penumpahan muatan, waktu menumpahkan muatan, waktu kembali kosong. Waktu edar alat angkut ditunjukkan pada Persamaan 2 (Almeida dan Alves, 2012):

$$C_{ta} = A_a + B_a + C_a + D_a + E_a + F_a + G_a \quad (2)$$

dimana,

Cta	= waktu edar alat angkut (s)
Aa	= waktu mengatur posisi untuk dimuat kembali (s)
Ba	= waktu isi muatan (s)
Ca	= waktu mengangkut muatan (s)
Da	= waktu mengatur posisi (s)
Ea	= waktu menumpahkan muatan (s)
Fa	= waktu kembali kosong (s)
Ga	= waktu untuk menunggu dimuat (s)

Waktu edar sangat penting pengaruhnya terhadap produksi kerja alat karena waktu edar menjadi variabel dalam perhitungan jumlah *rate* yang dapat dilakukan dalam satu jam kerja. Semakin kecil waktu edar maka akan semakin besar juga jumlah produktivitas yang akan dihasilkan.

## 2.2 *Effective Working Hours*

*Effective working hours* atau waktu kerja efektif merupakan pengurangan antara jumlah dari waktu hambatan yang dapat dihindari dengan waktu hambatan yang tidak dapat dihindari. Waktu kerja efektif menunjukkan besar waktu maksimal yang dapat dimanfaatkan oleh alat untuk bekerja dan beroperasi di lapangan dengan jumlah jam kerja yang tersedia. Waktu kerja efektif dirumuskan pada Persamaan 3 (Istiqamah, 2020):

$$Wke = Wkt - (Whd + Whdt) \quad (3)$$

dimana,

Wke	= waktu kerja efektif (s)
Whd	= waktu hambatan yang dapat dihindari (s)
Wkt	= waktu kerja yang tersedia (s)
Whdt	= waktu kerja yang tidak dapat dihindari (s)

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jumlah jam kerja efektif memiliki dampak yang signifikan terhadap produktivitas perusahaan. Dalam bidang industri, peningkatan efektivitas jam kerja dapat menghasilkan peningkatan output produksi dan efisiensi operasional. Beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas jam

kerja meliputi manajemen waktu, kondisi kerja, motivasi karyawan, serta ketersediaan dan pemeliharaan peralatan produksi (Sahinidis *and* Daskin, 2016).

Waktu kerja efektif berbanding lurus dengan tingkat produksi yang dihasilkan, semakin besar waktu kerja efektif maka semakin besar jumlah produksi yang dihasilkan. Dalam operasional penambangan besarnya waktu kerja efektif diharapkan alat mampu bekerja secara optimal sehingga selain waktu kerja efektif yang ditingkatkan, produktivitas alat juga ikut meningkat sehingga target produksi tercapai secara maksimal.

Faktor-faktor yang mempengaruhi jam kerja yang efektif di industri pertambangan dapat bervariasi tergantung pada kondisi spesifik dari industri dan perusahaan. Beberapa faktor umum yang dapat mempengaruhi waktu kerja efektif pada industri pertambangan:

1. Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Industri pertambangan memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan dan cedera. Upaya yang dilakukan untuk menjaga dan meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja dapat mempengaruhi jam kerja yang efektif. Jika perusahaan telah mengadopsi langkah-langkah yang efektif untuk mencegah kecelakaan dan mempromosikan kesehatan kerja, maka jam kerja dapat berjalan lebih lancar (*International Labour Organization*, 2017).

2. Ketersediaan sumber daya

Industri pertambangan seringkali membutuhkan peralatan dan sumber daya yang cukup untuk operasional yang lancar. Jika perusahaan tidak memiliki peralatan atau sumber daya yang memadai, jam kerja yang efektif dapat terganggu (Ben Auwah *and* Platt, 2015).

3. Ketersediaan dan keterampilan tenaga kerja

Tingkat keterampilan tenaga kerja yang ada serta ketersediaan tenaga kerja yang memadai juga dapat mempengaruhi jam kerja yang efektif. Jika perusahaan memiliki tenaga kerja yang terampil dan cukup, proses kerja dapat berjalan dengan lebih efisien (Gyamfi *and* Acheampong, 2016).

4. Kondisi lingkungan

Faktor lingkungan seperti cuaca buruk, aksesibilitas terhadap lokasi pertambangan, dan kondisi geografis dapat mempengaruhi jam kerja yang

efektif. Jika kondisi lingkungan tidak mendukung, maka jam kerja efektif dapat terganggu (Petavratzi *et al*, 2017).

### 2.3 Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia yang dinyatakan dalam persentase (%). Adanya hambatan yang terjadi selama jam kerja akan mengakibatkan waktu kerja efektif semakin kecil sehingga efisiensi kerja juga semakin kecil. Efisiensi sangat penting pengaruhnya terhadap produktivitas kerja alat karena efisiensi menjadi variabel dalam perhitungan produktivitas perjam. Semakin besar efisiensi maka akan semakin besar juga jumlah produktivitas yang akan dihasilkan.

Peningkatan efisiensi kerja alat mekanis akan berpengaruh terhadap pencapaian target produksi tersebut. Belum tercapainya target produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan dipengaruhi oleh sistem kerja alat mekanis yang belum efisien dan rendahnya kemampuan produksi saat ini, dimana kemampuan alat mekanis dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi jalan angkut, pola pemuatan, efisiensi kerja, dan keserasian alat gali muat dan alat angkut (Ichsanudin, 2018).

Adanya hambatan yang terjadi selama jam kerja akan mengakibatkan waktu kerja efektif semakin kecil sehingga efisiensi kerja juga semakin kecil yang ditunjukkan pada Persamaan 4 (Istiqamah dan Gusman, 2020):

$$E = \frac{W_{ke}}{W_{kt}} \times 100\% \quad (4)$$

dimana,

E = efisiensi (%)

$W_{ke}$  = waktu kerja efektif ( $W_{ke} = W_{kt} - (W_{hd} + W_{hdt})$  (s)

$W_{hd}$  = waktu hambatan yang dapat dihindari (s)

$W_{kt}$  = waktu kerja yang tersedia (s)

$W_{hdt}$  = waktu kerja yang tidak dapat dihindari (s)

Efisiensi sangat penting pengaruhnya terhadap produktivitas kerja alat karena efisiensi menjadi variabel dalam perhitungan produktivitas perjam. Semakin

besar efisiensi maka akan semakin besar juga jumlah produktivitas yang akan dihasilkan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi kerja sebagai berikut (Ichsanuddin, 2018):

#### 1. Faktor Material

Perbedaan kekerasan material yang akan digali sangat bervariasi, maka sering dilakukan penggolongan-penggolongan berdasarkan mudah-sukarnya digali dengan peralatan mekanis. Salah satu cara penggolongan material tersebut adalah:

1) Lunak (*soft*) atau mudah digali (*easy digging*), misalnya:

- a. Tanah atas atau tanah pucuk (*top soil*)
- b. Pasir (*sand*)
- c. Lempung pasir (*sand clay*)
- d. Pasir lempungan (*clayey sand*)

2) Agak keras (*medium hard digging*), misalnya:

- a. Tanah liat atau lempung (*clay*) yang basah dan lengket.
- b. Batuan yang sudah lapuk (*weathered rock*).

3) Sukar digali atau keras (*hard digging*), misalnya:

- a. Batu sabak (*slate*)
- b. Material kompak (*compacted material*)
- c. Batuan sedimen (*sedimentary rock*)
- d. Konglomerat (*conglomerate*)
- e. Breksi (*breccia*)

4) Sangat sukar digali atau sangat keras (*very hard digging*), misalnya:

- a. Batuan beku (*Igneous rock*)
- b. Batuan malihan (*metamorphic rock*)

#### 2. Faktor Manusia

Faktor dari manusia bisa disebabkan karena ketidakdisiplinan dari operator di lapangan, seperti kelalaian operator pada saat jam kerja.

#### 3. Faktor Mesin

Faktor mesin dapat mempengaruhi efisiensi kerja alat karena keadaan alat yang digunakan tergantung dari keadaan mesin tersebut apakah mesin

tersebut beroperasi dengan baik atau tidak, karena jika mesin bekerja dengan baik maka efisiensi dari alat dapat dimaksimalkan.

#### 4. Faktor Metode

Faktor metode merupakan metode pemuatan yang digunakan pada alat tersebut, terdiri dari:

##### a. *Top loading*

Kedudukan alat gali muat lebih tinggi dari bak truk. Cara ini hanya dipakai pada alat gali muat *backhoe*. Selain itu operator lebih leluasa untuk melihat bak dan menempatkan material.

##### b. *Bottom loading*

Metode pemuatan dengan cara ini dilakukan pada saat alat gali muat berada sejajar dengan alat angkut sehingga waktu edar dari alat akan lebih besar dari pada metode *top loading* operator juga lebih sulit dalam melakukan pemuatan ke dalam alat angkut karena keterbatasan penglihatan dan *swing* yang lebih susah. Posisi alat berada sejajar sehingga hasil pemuatan lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan pemuatan dengan *top loading*.

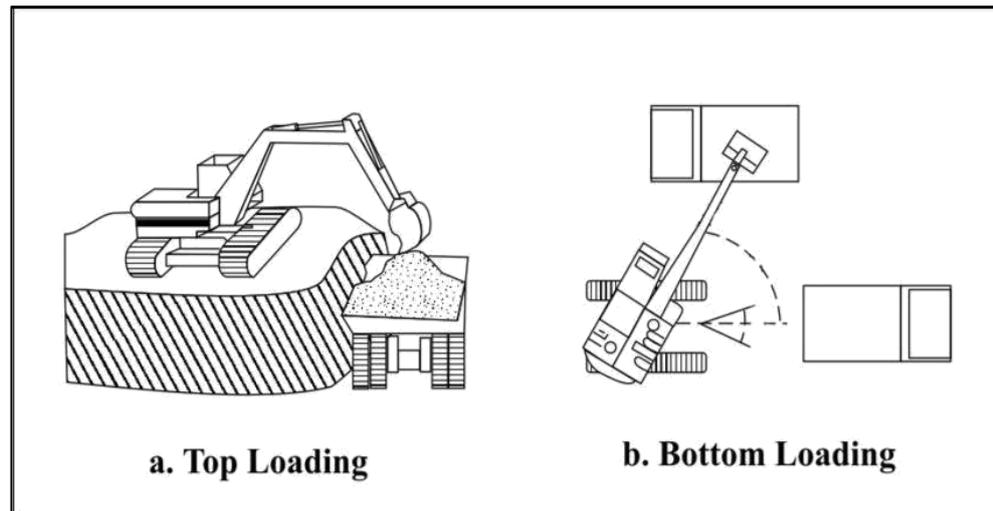
#### 5. Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan berkaitan dengan kondisi pada area penambangan. Faktor lingkungan diantaranya seperti cuaca, kondisi *front* kerja, kondisi area *dumping*, kondisi jalan angkut dan lain sebagainya.

## 2.4 Pola Pemuatan

Pola pemuatan alat gali muat dalam produksi bijih nikel laterit mengacu pada metode atau strategi yang digunakan untuk mengatur proses pemuatan bahan galian oleh alat gali muat. Pada dasarnya, pola pemuatan alat gali muat dirancang untuk meningkatkan produktivitas alat gali muat dan alat angkut serta mengoptimalkan efisiensi proses produksi. Pola pemuatan ini dapat mencakup berbagai faktor, seperti urutan pemuatan, kecepatan pemuatan, kapasitas muatan, serta pengaturan jarak dan letak antara alat gali muat dan alat angkut. Pola pemuatan dapat diklasifikasikan menurut beberapa jenis diantaranya (Hustrulid *and* Kutcha, 2013):

1. Berdasarkan kedudukan alat gali muat terhadap alat angkut  
Pola pemuatan oleh alat secara umum ditentukan oleh posisi kedudukannya. Perbedaan posisi dari alat tersebut dapat dibedakan berdasarkan perbedaan ketinggian level kerja. Posisi tersebut memungkinkan untuk bekerja pada level yang sama ataupun berbeda, perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola pemuatan *top loading* dan *bottom loading* (Nichols and Day, 2005)

Cara pemuatan terbagi menjadi dua, yaitu:

- a. *Top loading*

*Top loading* merupakan posisi pemuatan yang mana kedudukan alat gali muat berada pada posisi yang lebih tinggi dari pada bak *dump truck* (alat gali muat berada di bagian atas jenang). Posisi ini memiliki kelebihan pada kondisi jenang yang rendah dan waktu pemuatan akan memakan waktu yang lebih sedikit dibandingkan posisi *bottom loading*.

- b. *Bottom loading*

*Bottom loading* merupakan posisi pemuatan yang mana kedudukan alat gali muat akan berada pada level yang sama dengan level alat angkut. Posisi ini memiliki kelebihan pada kondisi jenang yang memiliki ketinggian cukup tinggi sehingga memiliki kemudahan untuk memilih material dan dapat menjangkau alat angkut lebih baik untuk melakukan pemuatan.

2. Berdasarkan jumlah dan penempatan alat gali muat terhadap alat angkut  
Pola pemuatan berdasarkan jumlah dan penempatan alat gali muat terhadap

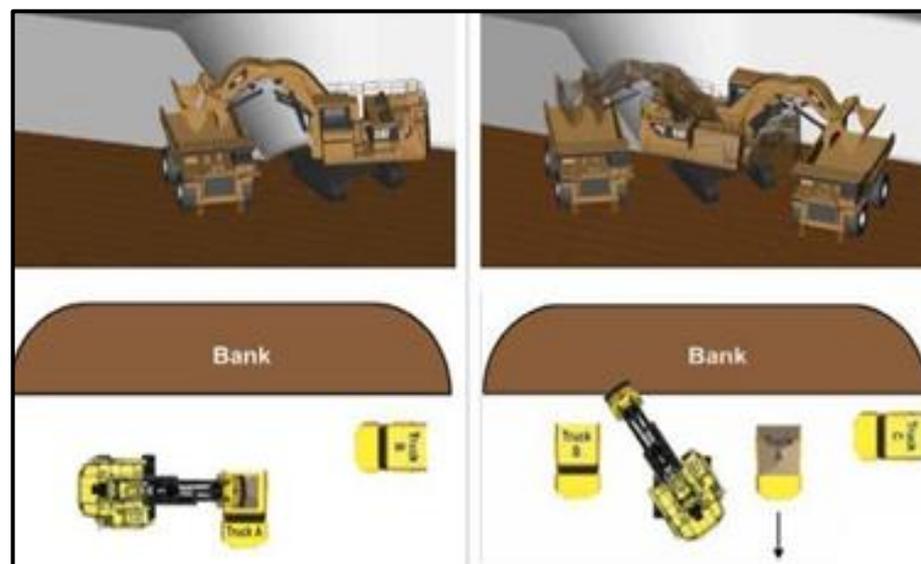
alat angkut dapat dibedakan menjadi *single-side loading* dan *double-side loading*.

a. *Single – side loading*

Pada pola pemuatan ini, *dump truck* hanya mengambil posisi pada salah satu sisi dari alat gali muat.

b. *Double – side loading*

Pada pola ini, *dump truck* dapat mengambil posisi pemuatan dari dua sisi alat gali muat. Pada waktu salah satu *dump truck* sedang diisi muatan, *dump truck* yang lainnya telah siap memposisikan diri untuk dimuati (Gambar 2).



Gambar 2. Pola pemuatan berdasarkan jumlah penempatan alat angkut (Caterpillar, 2022)

3. Berdasarkan manuver posisi alat gali muat terhadap muka jenjang

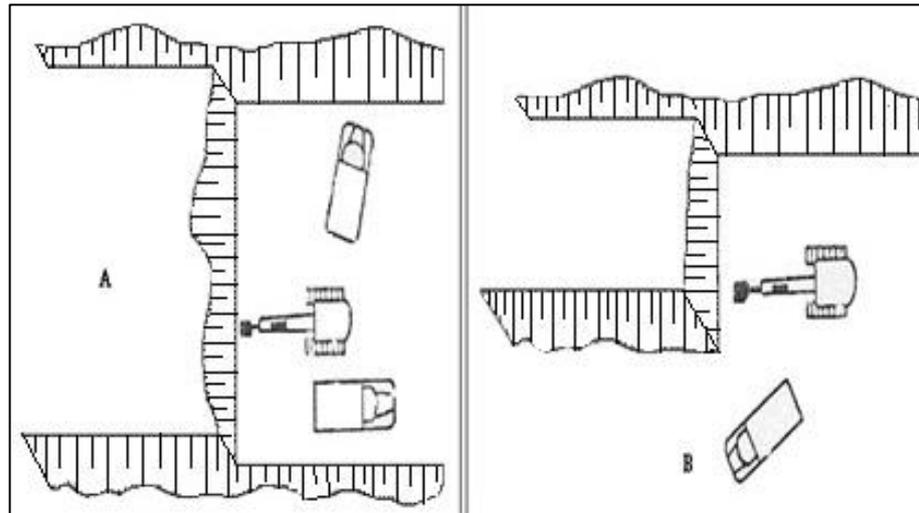
Pola pemuatan berdasarkan manuver posisi alat gali muat terhadap muka jenjang dibedakan menjadi *frontal cut* dan *parallel cut with driver-by*.

a. *Frontal cut*

Pola ini menunjukkan posisi alat gali muat yang berhadapan langsung dengan muka jenjang. Penggalian dilakukan ke arah depan dan samping dari posisi alat gali muat. Pada kondisi ini dapat digunakan *double side loading* dalam penempatan posisi *dump truck*. Pemuatan pada *dump truck* didahului pada salah satu sisi dan dilanjutkan pada sisi lainnya.

b. *Parallel cut with drive-by*

Pemuatan dilakukan secara sejajar dengan muka jenjang. Pada metode ini diperlukan akses alat angkut dari dua arah. Pada metode ini sudut putar rata – rata lebih besar dibandingkan *frontal cut*, tetapi alat angkut tidak perlu memosisikan diri terhadap alat gali muat, sehingga pemosisian alat dapat lebih mudah (Gambar 3).



Gambar 3. Pola pemuatan *frontal cut paralel* dan *cut with drive by* (Hustrulid and Kutcha, 2013)

## 2.5 Faktor Pengisian (*Bucket Fill Factor*)

*Bucket fill factor* atau disebut *dipper fill factor* dipengaruhi oleh cara penggalian dan jenis material yang dilakukan penggalian. *Bucket fill factor* biasanya dinyatakan dalam persentase. Pada kondisi tertentu material yang dilakukan penggalian dapat munjung (*heap*) dengan baik dan menghasilkan nilai *bucket fill factor* melebihi 100%. Nilai *bucket fill factor* dihitung dengan Persamaan 5 (Rumfelt, 1972):

$$\text{BFF} = \frac{V_b}{V_d} \times 100\% \quad (5)$$

dimana,

BFF = *bucket fill factor*, %

V<sub>b</sub> = volume nyata alat gali muat, m<sup>3</sup>

V<sub>d</sub> = volume baku, m<sup>3</sup>

Selain menggunakan rumus perhitungan, nilai BFF dapat ditentukan secara teoritis berdasarkan kondisi penggalian yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai BFF berdasarkan kondisi penggalian

<b><i>Excavating Condition</i></b>	<b><i>Bucket Fill Factor</i></b>
<i>Easy: Loading clayey soil, clay, or soft soil</i>	1,00 – 1,10
<i>Average: Loading loose soil with small diameter</i>	0,95 – 1,00
<b><i>Excavating Condition</i></b>	<b><i>Bucket Fill Factor</i></b>
<i>Rather difficult: Loading well blasted rock</i>	0,90 – 0,95
<i>Difficult: Loading poorly blasted rock</i>	0,85 – 0,90

Sumber: (Catterpillar, 2022).

## 2.6 Faktor Pengembangan (*Swell Factor*)

*Swell factor* adalah besarnya peningkatan volume dari volume bank (tidak terganggu, dalam keadaan tempat) menjadi volume lepas (terganggu, keadaan tergal) akibat adanya rongga (kantong udara) yang ditambahkan pada material setelah penggalian (Fauzi, 2021).

Material di lapangan jika digali akan mengalami pengembangan. Pengembangan volume sebelum digali dan volume setelah digali diartikan sebagai faktor pengembangan. Faktor pengembangan juga dapat diketahui dari perbandingan densitas material lepas dan densitas material insitunya. Material mempunyai densitas yang berbeda karena dipengaruhi sifat fisiknya. Nilai *swell factor* untuk material penambangan dapat dilihat pada Tabel 2 (Tenriajeng, 2003):

Tabel 2. Nilai *swell factor*

<b>Jenis Material</b>	<b><i>Density Insitu</i> (Ib/cu yd)</b>	<b><i>Swell Factor</i></b>
Bauksit	2.700-4325	75
Tanah liat kering	2.300	85
Tanah liat basah	2.800-3.000	80-82
Antrasit	2.200	74
Batubara bituminous	1.900	74
Tanah biasa kering	2.800	85
Tanah biasa basah	3.370	85
Tanah biasa bercampur	3.100	90
Pasir dan krikil	3.250	89
Kerikil kering	3.250	89

Jenis Material	Density Insitu (lb/cu yd)	Swell Factor
Kerikil basah	3.600	88
Granit pecah-pecah	4.500	56-67
Hematit pecah-pecah	6.500-8.700	45
Bijih besi pecah-pecah	3.600-5.500	45
Batu kapur pecah-pecah	2.500-4.200	57-60
Lumpur	2.160-2.970	83
Lumpur sudah ditekan	2.970-3.510	83
Pasir kering	2.200-3.250	89
Pasir basah	3.300-3.600	88
Serpih ( <i>shale</i> )	3.300-3.600	75
Batu sabak ( <i>slate</i> )	4.590-4.860	77

Sumber: (Tenriajeng, 2003)

Berdasarkan Tabel 2 nilai *swell factor* dari bijih nikel laterit sama dengan material tanah biasa kering dan tanah biasa basah dimana nilai dari persen *swell factor* dari material tanah biasa kering dan tanah biasa basah adalah 85%.

## 2.7 Produktivitas Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Produktivitas alat gali muat dan alat angkut adalah kemampuan produksi alat gali muat dan alat angkut. Perhitungan produktivitas alat terbagi menjadi 2 macam, yaitu secara teoritis dan secara aktual (nyata). Produksi teoritis alat merupakan hasil terbaik secara perhitungan yang dapat dicapai suatu hubungan kerja alat selama waktu operasi tersedia dengan memperhitungkan faktor koreksi yang ada. Semakin baik tingkat penggunaan alat maka semakin besar produktivitas yang dihasilkan (Eugene and Pfeleider, 1972).

### 1. Produktivitas Alat Gali-Muat

Kemampuan produktivitas alat gali muat adalah besar produktivitas yang dicapai dalam kenyataan alat gali muat berdasarkan kondisi yang dapat dicapai saat ini. Untuk menghitung produktivitas alat gali muat dapat digunakan rumus pada Persamaan 6 (Adinda dan Yulhendra, 2019):

$$q = q_1 \times k \quad (6)$$

dimana,

$$q = \text{kapasitas produksi persiklus (m}^3, \text{ cu yd}^3)$$

$q_1$  = kapasitas bucket ( $m^3$ , cu yd<sup>3</sup>)

$k$  = *bucket fill factor*

Setelah mengetahui kapasitas dari *bucket excavator*, dapat dihitung produktivitas tersebut yaitu dengan rumus pada Persamaan 7 (Adinda dan Yulhendra, 2019):

$$Q = q \times Sf \times 3600/CM \times E \quad (7)$$

dimana,

$Q$  = produksi perjam (BCM/jam)

$q$  = kapasitas produksi persiklus ( $m^3$ , cu yd<sup>3</sup>)

$Sf$  = *swell factor*

$Cm$  = *cycle time* (detik)

$E$  = efisiensi kerja (%)

## 2. Produktivitas alat angkut

Produktivitas alat angkut sangat dipengaruhi oleh jarak sebagai proses penganalisaan terhadap produktivitas alat angkut yang berfokus terhadap pengaruh jarak dari pengangkutan terhadap produktivitas alat angkut. Dalam perhitungan produktivitas alat angkut, perlu dihitung kapasitas *vessel dump truck* dengan Persamaan 8 (Adinda dan Yulhendra, 2019):

$$C = n \times q_1 \times k \quad (8)$$

dimana,

$C$  = produksi persiklus ( $m^3$ , cu yd<sup>3</sup>)

$n$  = jumlah pengisian alat gali muat ke alat angkut

$q_1$  = kapasitas *bucket* ( $m^3$ , cu yd<sup>3</sup>)

$k$  = *bucket fill factor*

Analisis produktivitas *dump truck* dapat dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 9 (Adinda dan Yulhendra, 2019):

$$P = C \times Sf \times 60/Cmt \times Et \quad (9)$$

dimana,

$P$  = produktivitas *dump truck* (BCM/jam)

$C$  = produksi persiklus ( $m^3$ , cu yd<sup>3</sup>)

$Sf$  = *swell factor*

$Cmt$  = waktu siklus *dump truck*

$E_t$  = efisiensi *dump truck*

## 2.8 Ketersediaan Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Salah satu hal yang mempengaruhi produksi dari kebutuhan alat gali-muat dan alat angkut yang diinginkan dalam operasi penambangan adalah masalah ketersediaan alat. Ketersediaan alat adalah faktor yang menunjukkan kondisi alat-alat mekanis dalam melakukan pekerjaan dengan memperhatikan kehilangan waktu selama kerja. Beberapa faktor yang memengaruhi ketersediaan alat gali muat dan alat angkut (Istiqamah dan Gusman, 2019):

### 1. Ketersediaan Mekanis (*Mechanical Availability*)

Ketersediaan mekanis (*mechanical availability*) merupakan faktor yang menunjukkan Ketersediaan alat dalam melakukan pekerjaan dengan memperhatikan kehilangan waktu yang digunakan untuk memperbaiki mesin, peralatan dan alasan mekanis lainnya. Ketersediaan mekanis (*mechanical availability*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 10:

$$MA = \frac{W}{W+R} \times 100\% \quad (10)$$

dimana,

MA = *mechanical availability*

W = *working hours* atau jumlah jam kerja

R = *repairs hours* atau jumlah jam untuk perbaikan

### 2. Ketersediaan Fisik (*Physical Availability*)

Ketersediaan fisik (*physical availability*) merupakan faktor yang menunjukkan Ketersediaan alat untuk melakukan kerja dengan memperhitungkan waktu yang hilang karena rusaknya jalan, faktor cuaca dan lainnya. Ketersediaan fisik (*physical availability*) dapat dihitung menggunakan Persamaan 11:

$$PA = \frac{W+S}{W+R+S} \times 100\% \quad (11)$$

dimana,

PA = *physical availability*

W = *working hours* atau jumlah jam kerja

R = *repairs hours* atau jumlah jam untuk perbaikan

S = *standby hours*

### 3. *Use of Availability*

*Use of availability* merupakan faktor yang menunjukkan berapa persen waktu yang dipergunakan oleh suatu alat untuk beroperasi pada saat alat tersebut dapat dipergunakan. *Use of availability* dapat dihitung menggunakan Persamaan 12:

$$UA = \frac{W}{W+S} \times 100\% \quad (12)$$

dimana,

UA = *use of avability*

W = *working hours* atau jumlah jam kerja

S = *standby hours Effective Utilization*

*Effective utilization* merupakan faktor yang menunjukkan berapa persen dari seluruh waktu kerja yang tersedia dapat dimanfaatkan untuk kerja produktif. *Effective utilization* sebenarnya sama dengan efisiensi kerja. *Effective utilization* dapat dihitung menggunakan Persamaan 13:

$$EU = \frac{W}{W+R+S} \times 100\% \quad (13)$$

dimana,

EU = *effective utilization*

W = *working hours* atau jumlah jam kerja

R = *repairs hours* atau jumlah jam untuk perbaikan

S = *standby hours*

## 2.9 *Match Factor (Faktor Keserasian)*

*Match Factor* (MF) merupakan suatu persamaan sistematis yang digunakan untuk menghitung tingkat keselarasan kerja antara alat gali muat dan alat angkut untuk setiap kondisi pemuatan dan pengangkutan. Operasi kerja yang serasi antara alat gali muat dan alat angkut akan memperlancar kegiatan pemuatan dan pengangkutan sehingga produksi yang dihasilkan akan lebih optimum (Burt and Caccetta, 2014).

Faktor keserasian (*match factor*) ini digunakan untuk mengetahui jumlah alat angkut yang sesuai (serasi) saat melayani satu unit alat gali muat. Rumus dari *match factor* dapat dilihat pada Persamaan 14 (Burt and Caccetta, 2014):

$$MF = \frac{NT \times CL}{NL \times CT} \quad (14)$$

dimana,

NT = jumlah alat angkut (unit)

NL = jumlah alat gali muat (unit)

CL = waktu edar alat gali muat mengisi penuh 1 bak truk (menit)

CT = *cycle time* alat angkut (menit)

Bila hasil dari perhitungan didapatkan  $MF < 1$  berarti *excavator* akan sering menganggur, jika  $MF=1$  maka *excavator* dan *dump truck* tidak ada yang menganggur, dan jika  $MF > 1$  berarti *dump truck* akan sering menganggur. Jumlah *dump truck* yang diperlukan untuk melayani satu unit *excavator* dapat diketahui dengan menggunakan rumus faktor keserasian di atas, dengan beberapa asumsi yang harus dilakukan yaitu jumlah alat-gali muat = 1 dan nilai  $MF =$  sehingga rumus di atas dapat disederhanakan menjadi Persamaan 15 (Burt dan Caccetta, 2014):

$$NH = \frac{CTH}{CTL} \quad (15)$$

dimana,

NH = jumlah *dump truck*

CTH = waktu edar *hauler* (menit)

CTL = waktu edar *loader* (menit)

## 2.10 Diagram *Fishbone*

Diagram *fishbone* (Diagram Ishikawa) adalah diagram yang berbentuk seperti tulang ikan yang digunakan sebagai alat untuk menganalisis dan mengidentifikasi hubungan sebab akibat dalam suatu masalah atau peristiwa tertentu. Manfaat diagram tulang ikan adalah memfokuskan individu atau organisasi pada masalah utama. Bagian-bagian diagram tulang ikan terdiri atas kepala ikan yang digunakan untuk menyatakan masalah utama yang perlu dipecahkan, sirip digunakan untuk menuliskan kelompok masalah dan tulang ikan digunakan untuk menyatakan penyebab masalah (Aurah *et al*, 2022).

Analisis *fishbone* dapat menemukan konsep kajian berupa (Banks, 1989):

1. Identifikasi kemungkinan akar dari sebuah penyebab, alasan utama untuk sebuah efek yang spesifik atau kondisi permasalahan.
2. Menyorot atau menghubungkan beberapa interaksi antara faktor-faktor yang mempengaruhi efek atau proses.
3. Menganalisis sebuah permasalahan agar dapat diambil tindakan secara tepat.

Penyusunan akar permasalahan dalam analisis *fishbone* didasarkan pada beberapa ketentuan (Illie *and* Ciouciou 2010), antara lain adalah:

1. Termasuk kedalam bagian diagram (kiri atau kanan).
2. Distribusi penyebab dari luar atau dari dalam (endogenous atau exogenous).
3. Kronologi atau frekuensi kejadian.
4. Komposisi grup yang disusun sehingga lebih representatif.
5. Kemungkinan penggantian penyusunan, jika selama dalam proses penyusunan terjadi perubahan penyebab.

Langkah-langkah penggunaan analisis *fishbone* adalah:

1. Menentukan karakteristik masalah dan buatlah menjadi seperti “tulang punggung ikan”.
2. Menentukan penyebab utama dari masalah. Secara umum masalah dibagi dalam kategori: staf, mesin, material, metode, dan lingkungan (atau energi).
3. Menetapkan satu “tulang besar” yang berasal dari tulang punggung ikan kesetiap kategori. Untuk setiap penyebab utama, tentukan area yang memberikan kontribusi terhadap setiap masalah, misalnya kurangnya pelatihan mungkin menjadi kategori staf.
4. Menulis di horizontal garis pada “tulang tengah” yang berjalan keluar dari tulang besar. Menulis di horizontal garis pada “tulang tengah” yang berjalan keluar dari tulang besar.
5. Menganalisis dan menentukan penyebab sekunder dan menambahkannya sebagai “tulang kecil” dengan menambahkan level-level masalah. Untuk setiap penyebab dapat dimulai dengan pertanyaan “mengapa hal ini terjadi?” jika ada alasan lain, termasuk pada sebuah cabang dari garis horizontal penyebab tersebut misalnya “mengapa terdapat kurangnya pelatihan?” ini harus ditambahkan kedalam diagram.

Bagian-bagian dari diagram *fishbone* terdiri dari (Ilori *et.al*, 2019):

1. Kepala ikan digunakan untuk menyatakan masalah utama yang perlu diselesaikan.
2. Sirip digunakan untuk menuliskan kelompok permasalahan.
3. Duri digunakan untuk menyatakan penyebab masalah.

Beberapa fungsi dari diagram *fishbone* diantaranya (Mustofa, 2014):

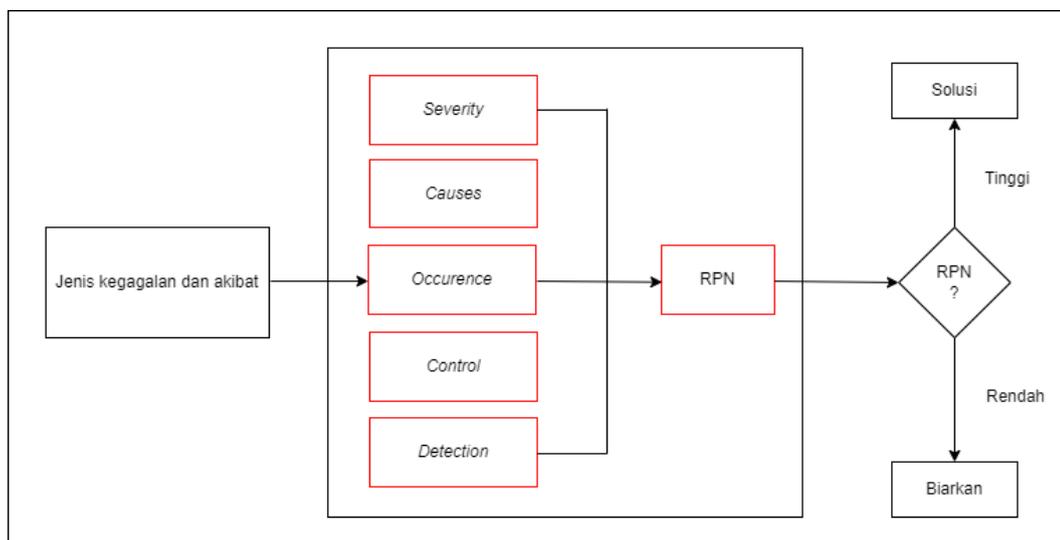
1. Membantu mengidentifikasi akar penyebab dari suatu masalah.
2. Membantu membangkitkan ide-ide untuk solusi suatu masalah.
3. Membantu dalam penyelidikan atau pencarian fakta lebih lanjut.
4. Mengidentifikasi tindakan untuk menciptakan hasil yang diinginkan.
5. Membahas isu secara lengkap dan rapi.
6. Menghasilkan pemikiran baru.

## **2.10 Analisis FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)**

*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah salah satu teknik pemodelan yang cocok digunakan untuk menyelidiki kegagalan sistem yang kompleks (Balaraju dkk., 2019). FMEA merupakan suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*). FMEA digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas. Suatu mode kegagalan adalah apa saja yang termasuk dalam kecacatan/kegagalan dalam desain, kondisi diluar batas spesifikasi yang telah ditetapkan, atau perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk atau jasa tersebut. Tujuan dari FMEA adalah untuk menentukan tingkat risiko dari setiap jenis kegagalan sehingga dapat diambil keputusan apakah perlu diambil suatu tindakan atau tidak. FMEA ini juga digunakan untuk menekan kerugian yang timbul karena kegagalan proses produksi. Menurut Chrysler (2008), FMEA dapat dilakukan dengan cara:

1. Mengenali dan mengevaluasi kegagalan potensi suatu produk dan efeknya.
2. Mengidentifikasi tindakan yang bisa menghilangkan atau mengurangi kesempatan dari kegagalan potensi terjadi.
3. Pencatatan proses (*document the process*).

Terdapat dua penggunaan FMEA yaitu dalam bidang desain (*FMEA Design*) dan dalam proses (*FMEA Procces*). FMEA desain akan membantu menghilangkan kegagalan-kegagalan yang terkait dengan desain, misalnya kegagalan karena kekuatan yang tidak tepat, material yang tidak sesuai, dan lain lain. FMEA proses akan menghilangkan kegagalan yang disebabkan oleh perubahan-perubahan dalam variabel proses, misal kondisi diluar batas-batas spesifikasi yang ditetapkan seperti ukuran yang tidak tepat, tekstur dan warna yang tidak sesuai, ketebalan yang tidak tepat, dan lain-lain. Gambar 4 memperlihatkan proses bagaimana FMEA membuat daftar tingkat risiko untuk mengidentifkiasi jenis kegagalan dan risiko (Puspitasari dan Martanto, 2014). Setiap desain, fungsi dan proses ditelaah secara menyeluruh bagaimana risiko dan dampaknya ( $S=Severity$ ), kemungkinan munculnya kegagalan ( $O=Occurence$ ), seberapa jauh dapat dideteksi ( $D=Detection$ ). Dari penilaian ini ditelaah pula sebab (*cause*) dan bentuk pengendaliannya (*control*). Hasil akhirnya adalah nilai total berupa RPN (*Risk Priority Number*) yang menunjukkan total jumlah penilaian dari aspek S, O, D. Diagram alir pembentukan risiko pada analisis FMEA dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram pembentukan tingkat risiko pada Analisis FMEA (Hasbullah, 2017)

## 2.11 Risk Priority Number

*Risk Priority Number* (RPN) merupakan pengukuran risiko relatif dengan mengalikan nilai *severity*, *occurence*, dan *detection*. Ambang batas yang terdapat di dalam lingkup FMEA dapat berkisar diantara 1 sampai 1000. Nilai RPN

diasumsikan sebagai ukuran risiko relatif dan perbaikan yang berkelanjutan. Perhitungan nilai RPN dapat dilihat pada Persamaan 16 (Wang *et al.*, 2009):

$$\text{RPN} = S \times O \times D \quad (16)$$

dimana,

RPN = *risk priority number*

S = nilai *severity*

O = nilai *occurrence*

D = nilai *detection*

*Risk Priority Number* terdiri beberapa komponen diantaranya adalah:

1. *Severity*

*Severity* adalah nilai yang berkaitan dengan efek atau akibat yang ditimbulkan pada mode kesalahan. Pada nilai *severity* angka 1 merupakan nilai paling rendah dan angka 10 adalah nilai paling tinggi. Dalam menentukan nilai *severity* dan peringkatnya, tim harus saling sepakat dan menerapkannya secara terus menerus (Wang *et al.*, 2009).

2. *Occurrence*

*Occurrence* adalah seberapa sering kemungkinan penyebab terjadinya kesalahan potensial. Kemungkinan dari peringkat *occurrence* memiliki makna relatif daripada nilai absolut. Pada nilai *occurrence* dimulai dari skala 1 sampai 10 yang manba peringkat tersebut konsisten dan terus berlangsung. Kesalahan yang terjadi digunakan untuk menunjukkan jumlah kesalahan yang diperkirakan selama proses. Pada kasus tertentu penilaian subjektif dapat menggunakan deskripsi kata pada kolom sebelah kiri bersamaan dengan masukan dari sumber pengetahuan yang tepat untuk memperkirakan peringkat (Wang *et al.*, 2009).

3. *Detection*

*Detection* merupakan peringkat yang berhubungan dengan kontrol deteksi (ketelitian). Peringkat yang terdapat pada *detection* termasuk kedalam peringkat relatif dalam lingkup FMEA. Agar dapat mencapai peringkat yang lebih rendah, maka harus dapat meningkatkan kontrol deteksi yang sudah direncanakan. Namun apabila terdapat lebih 11 dari satu kontrol yang dapat

teridentifikasi, maka disarankan agar peringkat deteksi setiap kontrol dimasukkan sebagai bagian dari deskripsi kontrol (Wang *et al.*, 2009).

Penilaian kriteria nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* dapat dilihat pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 5 (Stamatis, 2019).

Tabel 3. Penilaian kriteria nilai *severity* pada analisis FMEA

<i>Effect</i>	<i>Description</i>	<i>Rate</i>
Tidak ada	Tidak ada efek yang teramati.	1
Sangat kecil	Gangguan sangat kecil pada sistem. Hal ini menimbulkan pengaruh namun tidak signifikan.	2
Kecil	Gangguan kecil dalam sistem yang berpengaruh <5%.	3
Sangat rendah	Gangguan kecil dalam sistem yang berpengaruh <10%.	4
Rendah	Gangguan kecil dalam sistem yang berpengaruh <15%. Sistem akan tetap berjalan dengan beberapa gangguan kecil.	5
Sedang	Gangguan sedang dalam sistem yang berpengaruh >20%. Sistem akan tetap berjalan namun terdapat beberapa gangguan yang harus dihilangkan.	6
Tinggi	Gangguan dalam sistem yang berpengaruh >30%. Gangguan pada sistem mudah terdeteksi sehingga memerlukan perbaikan secepatnya.	7
Sangat tinggi	Gangguan besar dalam sistem yang berpengaruh hampir 100%.	8
Bahaya dengan peringatan	Sangat mempengaruhi proses operasi dan/atau melibatkan ketidakpatuhan terhadap peraturan yang berlaku. Kegagalan akan terjadi namun masih dapat terdeteksi dan diberikan peringatan.	9
Bahaya tanpa peringatan	Sangat mempengaruhi proses operasi dan/atau melibatkan ketidakpatuhan terhadap peraturan yang berlaku. Kegagalan akan terjadi dan tidak dapat terdeteksi serta tidak dapat diberikan peringatan.	10

Tabel 4. Penilaian kriteria nilai *occurance* pada analisis FMEA

<i>Occurance</i>	<i>Description</i>	<i>Frequency</i>	<i>Rate</i>
Tidak ada	Kemungkinan terjadinya kegagalan sangat kecil atau hampir tidak ada	<1:1.500.000	1
Rendah	Terdapat kegagalan yang diakibatkan oleh adanya gangguan namun dapat terisolasi	1:150.000	2
		1:15.000	3
		1:2000	4
Sedang	Kegagalan yang terjadi jumlahnya tidak terlalu signifikan atau tidak dalam skala besar.	1:400	5
		1:80	6
		1:20	7
Tinggi	Kegagalan yang terjadi dalam skala besar.	1:8	8
		1:3	9
Sangat Tinggi	Kegagalan dalam proses hampir tidak dapat dihindari.	.>1:2	10

Tabel 5. Penilaian kriteria nilai *occurance* pada analisis FMEA

<i>Detection</i>	<i>Description</i>	<i>Rate</i>
Sangat mudah	Pemantauan proses akan dengan mudah mendeteksi atau mencegah potensi masalah dari mode kegagalan berikutnya.	1
Sangat tinggi	Pemantauan proses akan sangat memungkinkan untuk mendeteksi atau mencegah potensi masalah dari mode kegagalan berikutnya.	2
Tinggi	Pemantauan proses memiliki kemungkinan tinggi untuk mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	3
Sedang-tinggi	Pemantauan proses memiliki kemungkinan cukup tinggi untuk mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	4

<i>Detection</i>	<i>Description</i>	<i>Rate</i>
Sedang	Pemantauan proses memiliki kemungkinan yang sedang untuk mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	5
Rendah	Pemantauan proses memiliki kemungkinan rendah untuk mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	6
Sangat rendah	Pemantauan proses memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	7
Jarang	Pemantauan proses jarang mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	8
Sangat jarang	Pemantauan proses sangat jarang mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	9
Langka	Tidak ada pemantauan yang dapat mendeteksi atau mencegah potensi penyebab mode kegagalan berikutnya.	10

Angka prioritas risiko (*Risk Priority Number*) merupakan hasil perkalian dari nilai *severity*, *occurance* dan nilai tingkat deteksi ( $RPN = S \times O \times D$ ). Semakin tinggi nilai RPN, makin tinggi kebutuhan untuk mengambil suatu tindakan. Perhitungan ini untuk mencapai tujuan dari FMEA adalah untuk mengidentifikasi dan mencegah kegagalan yang diketahui dan berpotensi untuk itu asumsi dibuat bahwa setiap kegagalan mempunyai prioritas yang berbeda (Hasbullah *et al*, 2017).