

**ANALISIS KEPUTUSAN MARKOV  
PADA PERAWATAN MESIN  
Studi Kasus PT. Pindad (Persero) Turen-Malang**

**SKRIPSI**

oleh

**AHMAD DENY AINUL WAFI  
0810940001-94**



**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2012**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**ANALISIS KEPUTUSAN MARKOV  
PADA PERAWATAN MESIN**

**Studi Kasus PT. Pindad (Persero) Turen-Malang**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Matematika

oleh

**AHMAD DENY AINUL WAFI**

**0810940001-94**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2012**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS KEPUTUSAN MARKOV  
PADA PERAWATAN MESIN  
Studi Kasus PT. Pindad (Persero) Turen-Malang**

oleh  
**AHMAD DENY AINUL WAFI**  
**0810940061**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal 11 Juni 2012  
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang Matematika

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Drs. Marsudi, MS**  
**NIP. 196101171988021002**

**Kwardiniya A., S.Si., M.Si.**  
**NIP. 197006221998022001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Matematika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Dr. Abdul Rouf A., M.Sc.**  
**NIP. 196709071992031001**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Deny Ainul Wafi  
NIM : 0810940001  
Jurusan : Matematika  
Penulis skripsi berjudul : Analisis Keputusan Markov  
Perawatan Mesin (Studi Kasus PT.  
Pindad (Persero) Turen-Malang)

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. skripsi ini adalah hasil pemikiran saya, bukan hasil plagiat dari tulisan orang lain. Rujukan-rujukan yang tercantum pada daftar pustaka hanya digunakan sebagai acuan atau referensi,
2. apabila suatu saat nanti diketahui bahwa isi skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran.

Malang, 11 Juni 2012  
yang menyatakan,

Ahmad Deny Ainul Wafi  
NIM 0810940001



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





**ANALISIS KEPUTUSAN MARKOV  
PADA PERAWATAN MESIN  
Studi Kasus PT. Pindad (Persero) Turen-Malang**

**ABSTRAK**

Perawatan mesin merupakan suatu tindakan yang penting guna menjaga daya fungsi mesin. Perawatan dibedakan menjadi dua, yaitu pencegahan dan perbaikan. Tanpa adanya perawatan yang tepat, dimungkinkan terjadi ketidakefisienan biaya perawatan yang dikeluarkan. Pada skripsi ini dibahas konstruksi model kerusakan mesin dengan cara mengolah data hasil penelitian di PT. Pindad (Persero) Turen-Malang. Mesin yang digunakan dalam pembahasan adalah mesin bubut, frais dan asah. Data kerusakan mesin tersebut diolah menjadi matriks probabilitas transisi awal yang berisi peluang perubahan kondisi kerusakan mesin pada periode selanjutnya. Dari model tersebut, dianalisis menggunakan keputusan markov untuk mendapatkan keputusan perawatan mesin, agar biaya yang dikeluarkan minimum. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah enumerasi lengkap dan iterasi kebijakan. Solusi yang dihasilkan oleh kedua metode sama, yaitu pencegahan pada kondisi kerusakan ringan (kondisi 2) dan kerusakan sedang (kondisi 3), perbaikan pada kondisi kerusakan berat (kondisi 4), pada ketiga mesin yang dibahas. Pada skripsi ini, juga dibahas perbandingan kedua metode tersebut. Metode enumerasi lengkap lebih tepat digunakan, apabila perusahaan ingin mengetahui urutan kebijakan yang dapat dilakukan untuk meminimumkan biaya. Namun, metode iterasi kebijakan lebih efisien dari segi waktu, karena dengan sembarang kebijakan awal, dapat ditentukan kebijakan akhir sebagai solusi perawatan mesin.

**Kata kunci** : enumerasi lengkap, iterasi kebijakan, keputusan markov, pencegahan, perawatan, perbaikan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**MARKOV DECISION ANALYSIS  
ON THE MAINTENANCE MECHINE**  
**Problem study at PT. Pindad (Persero) Turen-Malang**

**ABSTRACT**

Engine maintenance is an important action to keep the power function of a machine. This maintenance is differentiated into two kinds, which are prevention and corrective. Without the right maintenance, the inefficiency cost of maintenance can happen. This paper discusses about the model construction of damage engine by processing the datas of the research results at PT. Pindad (Persero) Turen- Malang. The machines which are used in the discussion are lathes, milling and sharpening. The data of damage engines are processed into the matrix of probability which containS opportunities of changing conditions on the mechanical damage for the next period. Those data then are analyzed using Markov decision to get a decision of early maintenance so that the inefficiency cost can be pressed. The methods which are used in this analysis are exhaustive enumeration and policy iteration. The solutions that are producing by both of the methods show the same results, namely prevention for the minor (2nd condition) and moderate damage condition (3rd condition), and also corrective for severe damage condition (4th condition) for the three mechine that are discussed. This paper also discusses about the comparation of those methods. Exhaustive enumeration method is more appropriate to be used if the company wants to know the sequence of the policies that can be done to minimize the costs. However, the policy iteration method is more efficient in terms of time because the final policy as the solution of maintenance engine can be determined by any early policies.

**Keywords :** corrective, exhaustive enumeration, maintenance, markov decision, policy iteration, preventive.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Keputusan Markov pada Perawatan Mesin”. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tak lupa penulis juga ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Drs. Marsudi, MS selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, saran, nasehat, motivasi serta kesabaran selama penyusunan skripsi ini,
2. Kwardiniya A., S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II atas segala bimbingan, saran, nasehat, motivasi serta kesabaran selama penyusunan skripsi ini,
3. Dra. Endang Wahyu Handamari, M.Si., Dr. Sobri Abusini, MT, dan Dr. Agus Suryanto, M.Sc. sebagai dosen penguji atas segala masukan, saran dan kritik untuk perbaikan skripsi ini,
4. Dr. Abdul Rouf Al-Ghofari, M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika,
5. Dr. Sobri Abusini, MT, selaku ketua program studi Matematika,
6. seluruh dosen Jurusan Matematika yang telah memberikan ilmunya kepada penulis, serta segenap staf dan karyawan TU Jurusan Matematika atas segala bantuannya.
7. Umi Muawanah dan bapak Abdur Rhahim tercinta yang selalu menyayangi, memotivasi dan menasehati selama ini,
8. Pak Hendro, Pak Kukuh, Pak Sabari dan Pak Cipto atas segala bimbingan, saran, motivasi dan data selama penelitian,
9. Prila Ika yang telah banyak memotivasi dan membantu dalam penyelesaian skripsi ini,
10. Emak Daning, Ratih Sukma, Melsi, Mufidatul, Rohmia dan teman-teman seperjuangan Matematika A angkatan 2008 atas segala bantuan dan dukungannya,
11. Teman-teman kontrakan 735 Joyo Tamansari atas segala bantuan dan dukungannya,
12. serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sebagai manusia yang tak lepas dari salah, lupa dan khilaf, dalam penulisan skripsi ini masih sangat jauh dari

kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan selanjutnya.

Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat untuk segala pihak serta menambah wawasan dan menjadi sumbangan untuk ilmu pengetahuan.

Malang, 11 Juni 2012

Penulis





## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Proses Stokastik .....	5
2.2 Rantai Markov .....	5
2.3 Penaksiran Parameter Markov.....	8
2.4 Keadaan Setimbang ( <i>Steady State</i> ).....	9
2.5 Pengertian dan Peranan Perawatan Mesin Produksi.....	14
2.6 Jenis-jenis Perawatan Mesin Produksi .....	15
2.6.1 Perawatan Pencegahan ( <i>Preventive Maintenance</i> ) ...	15
2.6.2 <i>Corrective</i> atau <i>Break Down Maintenance</i> .....	17
2.7 Masalah Efisiensi dalam Pemeliharaan .....	17
2.8 Klasifikasi Kondisi Kerusakan Mesin .....	18
2.9 Proses Pengambilan Keputusan.....	19
2.10 Keputusan Markov .....	20
2.10.1 Metode Enumerasi Lengkap .....	21
2.10.2 Metode Iterasi Kebijakan .....	21
2.11 Kegunaan Probabilitas dan Keputusan Markov .....	23
2.12 Biaya <i>Down Time</i> .....	24
2.13 Analisis Biaya Perawatan .....	24



2.14 Ekspektasi biaya .....	25
2.15 Sejarah Perusahaan .....	25

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Jenis Penelitian .....	27
3.2 Jenis dan Sumber Data.....	27
3.3 Analisis Data.....	28

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

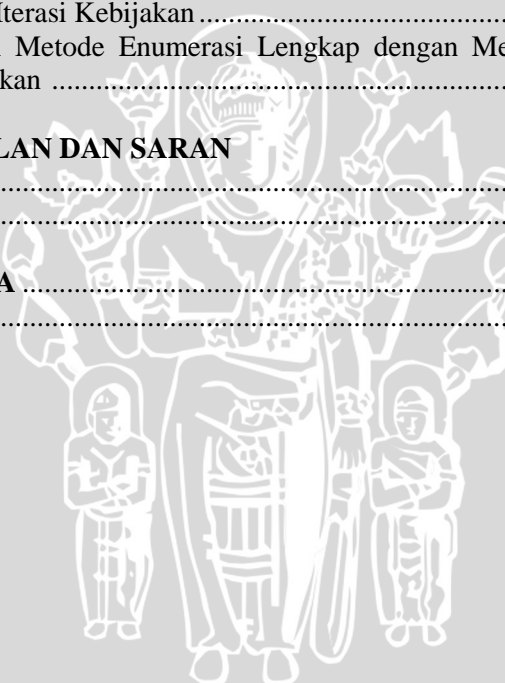
4.1 Model Kerusakan Mesin .....	31
4.2 Solusi Model Kerusakan Mesin.....	40
4.2.1 Metode Enumerasi Lengkap .....	40
4.2.2 Metode Iterasi Kebijakan .....	52
4.3 Perbandingan Metode Enumerasi Lengkap dengan Metode Iterasi Kebijakan .....	67

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran .....	69

**DAFTAR PUSTAKA .....**

**LAMPIRAN .....**



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Rancangan Pengamatan .....	9
Tabel 2.2 Tindakan yang dilakukan .....	23
Tabel 4.1 Transisi kondisi mesin bubut .....	32
Tabel 4.2 Transisi kondisi mesin frais .....	32
Tabel 4.3 Transisi kondisi mesin asah .....	33
Tabel 4.4 Jumlah rata-rata kondisi awal mesin bubut .....	34
Tabel 4.5 Jumlah rata-rata kondisi awal mesin frais .....	34
Tabel 4.6 Jumlah rata-rata kondisi awal mesin asah .....	35
Tabel 4.7 Probabilitas transisi awal mesin bubut .....	36
Tabel 4.8 Probabilitas transisi awal mesin frais .....	36
Tabel 4.9 Probabilitas transisi awal mesin asah .....	36
Tabel 4.10 Alternatif kebijakan .....	40
Tabel 4.11 Biaya ekspektasi satu langkah mesin bubut .....	43
Tabel 4.12 <i>Steady state</i> dan biaya ekspektasi mesin bubut .....	45
Tabel 4.13 Biaya ekspektasi satu langkah mesin frais .....	48
Tabel 4.14 <i>Steady state</i> dan biaya ekspektasi mesin frais .....	48
Tabel 4.15 Biaya ekspektasi satu langkah mesin asah .....	51
Tabel 4.16 <i>Steady state</i> dan biaya ekspektasi mesin asah .....	51
Tabel 4.17 Alternatif kebijakan <i>maintenance</i> mesin bubut .....	53
Tabel 4.18 Alternatif kebijakan <i>maintenance</i> mesin frais .....	55
Tabel 4.19 Alternatif kebijakan <i>maintenance</i> mesin asah .....	55
Tabel 4.20 Perbaikan kebijakan pertama perawatan mesin bubut.....	57
Tabel 4.21 Perbaikan kebijakan kedua perawatan mesin bubut.....	59
Tabel 4.22 Perbaikan kebijakan pertama perawatan mesin frais.....	61
Tabel 4.23 Perbaikan kebijakan kedua perawatan mesin frais.....	61
Tabel 4.24 Perbaikan kebijakan pertama perawatan mesin asah.....	64
Tabel 4.25 Perbaikan kebijakan kedua perawatan mesin asah.....	66
Tabel 4.26 Perbaikan kebijakan ketiga perawatan mesin asah.....	67

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Transisi kondisi mesin .....	73
Lampiran 2 Biaya perawatan mesin .....	77
Lampiran 3 Operasi Baris Elementer Matriks $[A B]$ .....	81
Lampiran 3 Listing program.....	83
Lampiran 4 Surat Ijin Penelitian .....	89



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bidang industri di jaman modern seperti saat ini, telah berkembang sangat pesat. Terlihat di setiap sudut kota atau daerah, tidak pernah lepas adanya industri, baik industri kecil, menengah, maupun yang besar. Perkembangan jaman mempengaruhi perkembangan sektor industri karena perusahaan dituntut berbagai permasalahan yang terjadi. Sebagai contoh, banyak muncul perusahaan tandingan atau perusahaan yang memproduksi barang atau jasa yang sama, sehingga menimbulkan persaingan. Untuk itu, perusahaan bersaing dengan maksimal agar tidak gulung tikar. Salah satu upaya yang dilakukan perusahaan adalah memperhatikan aspek mesin produksi.

Kondisi mesin yang digunakan sangat penting untuk kelancaran perusahaan dalam melakukan proses produksi. Proses produksi dapat berjalan dengan lancar, jika mesin tersebut baru, atau memiliki kondisi yang bagus. Proses produksi juga akan mengalami gangguan, jika mesin yang digunakan mengalami kemacetan atau kerusakan. Mesin memiliki peluang untuk berubah kondisi dari kondisi baik menjadi kondisi rusak karena adanya kemunduran sistem kerja. Kerusakan tersebut dapat dicegah dengan dilakukannya perawatan (*maintenance*).

Menurut Assaury (1993), peralatan atau fasilitas produksi yang seharusnya masih berfungsi baik, jika tidak dipelihara dengan baik, akan cepat mengalami kerusakan dan akan menurun tingkat kegunaannya. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa perawatan mesin sangat penting untuk mencegah adanya kerusakan pada mesin. Mesin yang tetap rusak, meskipun telah dilakukan perawatan, akan dilakukan perbaikan (korektif) sehingga mesin dapat digunakan kembali. Secara sepintas, mesin yang terus menerus dilakukan perawatan, kemungkinan kecil akan mengalami kerusakan. Namun ada faktor tertentu yang menyebabkan perbaikan lebih baik dilakukan tanpa melakukan perawatan atau menunggu sampai mesin tersebut benar-benar rusak.

Semua upaya perawatan peralatan atau fasilitas produksi tetap memperhatikan tujuan ekonomi perusahaan, yaitu dengan



pengeluaran yang minimal untuk mendapat keuntungan yang maksimal. Biaya yang sangat diperhatikan dalam masalah perawatan mesin adalah biaya *down time*, karena setiap melakukan pemeliharaan periodik terdapat jam produksi yang dikorbankan. Biaya *down time* adalah hilangnya *profit* dari suatu sistem yang tidak dapat berproduksi.

PT Pindad Persero Turen-Malang merupakan satu-satunya perusahaan milik negara yang bergerak di bidang produksi amunisi senjata. Perusahaan tersebut sangat memperhatikan perawatan mesin, mengingat hasil produksi yang sangat penting. Perawatan mesin yang dilakukan dapat memperlancar produksi amunisi senjata sehingga perusahaan tidak mengalami kerugian.

Berdasarkan permasalahan tersebut, perusahaan memerlukan keputusan yang cepat dan tepat untuk melakukan perawatan atau perbaikan pada mesin. Keputusan tersebut diharapkan dapat memberikan keuntungan kepada perusahaan.

Telah cukup banyak dikenal berbagai metode pengambilan keputusan secara matematis antara lain *Analytical Hierarchy Process* (AHP), pohon keputusan, *Heuristic*, dll. Beberapa metode tersebut kurang tepat jika diterapkan pada masalah perawatan mesin karena tidak dapat digunakan untuk menghitung ekspektasi dalam jangka panjang. Terdapat dua metode yang dapat menyelesaikan masalah perawatan mesin yaitu enumerasi lengkap dan iterasi kebijakan untuk pengambilan keputusan dalam jangka panjang. Kedua metode memang dapat menghasilkan keputusan yang sama, namun keduanya memiliki banyak perbedaan dalam proses penggunaannya.

Dalam skripsi ini dibahas penggunaan metode enumerasi lengkap dan iterasi kebijakan. Proses keputusan markov merupakan pengambilan keputusan untuk model stokastik. Dengan demikian, masalah *maintenance* akan dirumuskan menjadi suatu model stokastik menggunakan rantai markov agar dapat diselesaikan dengan kedua metode tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan pada latar belakang, sehingga diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. bagaimana memodelkan masalah kerusakan mesin bubut, mesin frais dan mesin asah di PT. Pindad (Persero) Turen-Malang ke dalam model stokastik,



2. bagaimana menentukan solusi model dengan menggunakan metode enumerasi lengkap dan iterasi kebijakan untuk menyelesaikan masalah *maintenance* di PT. Pindad (Persero) Turen-malang,
3. bagaimana perbandingan hasil metode enumerasi lengkap dengan iterasi kebijakan?

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, diberikan beberapa batasan masalah antara lain:

1. tidak membahas faktor-faktor penyebab kerusakan,
2. tidak membahas kegiatan dan tata cara perawatan oleh perusahaan,
3. mesin yang sejenis, dianggap memiliki karakteristik yang sama,
4. *sparepart* tersedia,
5. probabilitas transisi mesin tetap.

### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. memodelkan masalah kerusakan mesin bubut, mesin frais dan mesin asah di PT. Pindad (Persero) Turen-Malang ke dalam model stokastik,
2. menentukan solusi model dengan menggunakan metode enumerasi lengkap dan iterasi kebijakan untuk menyelesaikan masalah *maintenance* di PT. Pindad (Persero) Turen-malang,
3. membandingkan hasil metode enumerasi lengkap dengan iterasi kebijakan

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Proses Stokastik

Istilah proses stokastik seringkali digunakan berkaitan dengan observasi yang berorientasi waktu, proses alam yang dikontrol oleh sebuah mekanisme acak. Proses stokastik menurut Hines dan Douglas (1990) didefinisikan sebagai serangkaian variabel acak  $\{X_t\}$ , dimana  $t \in T$  merupakan indeks waktu atau deretan.  $T$  merupakan himpunan bilangan bulat tak negatif, dan  $X_t$  mewakili ukuran waktu dari  $t$ . Jika  $T$  berhingga atau tak hingga namun terbilang, maka disebut proses stokastik dengan parameter diskrit, dan jika  $T$  merupakan selang atau interval waktu yang konstan maka disebut proses stokastik dengan parameter kontinu. Ruang hasil dari  $X_t$  juga dapat diskrit maupun kontinu. Contoh proses stokastik,  $X_1, X_2, X_3, \dots$ , bisa mewakili kumpulan mingguan (atau bulanan) permintaan dari suatu produk atau menunjukkan langganan jasa penantian tiket pada waktu satu menit.

Dalam proses stokastik, perkembangan proses tidak dapat ditentukan dengan pasti karena ada sesuatu yang di luar kontrol. Jika suatu kejadian tertentu dari serangkaian eksperimen tergantung dari beberapa kemungkinan kejadian, maka eksperimen tersebut merupakan proses stokastik. Proses stokastik dibedakan menjadi dua yaitu proses bebas dan proses Markov.

### 2.2 Rantai Markov

Proses Markov adalah proses stokastik di mana masa lalu tidak mempunyai pengaruh pada masa yang akan datang bila masa sekarang diketahui (Papoulis, 1992). Rantai Markov didefinisikan sebagai proses Markov dengan variabel random yang hanya dapat mengasumsikan nilai tepat pada himpunan terbatas atau tidak terbatas. Berikut adalah definisi mengenai rantai Markov.

#### **Definisi 2.2.1 (Yates and David, 2005)**

Rantai Markov berwaktu diskrit  $\{X_t | t = 1, 2, \dots\}$  adalah himpunan waktu dan nilai diskrit acak yang diberikan  $X_1, X_2, \dots, X_t$ ,

variabel  $X_{t+1}$  acak selanjutnya hanya tergantung pada  $X_t$  melalui probabilitas transisi

$$\begin{aligned} P(X_{t+1} = j | X_1 = k_1, \dots, X_{t-1} = k_{t-1}, X_t = i) \\ = P(X_{t+1} = j | X_t = i) \\ = P_{ij}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Pada persamaan (2.1), nilai  $X_t$  meringkas semua kejadian lalu dari sistem, yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel  $X_{t+1}$  selanjutnya dalam himpunan acak. Variabel  $X_t$  disebut *state/kondisi/keadaan* sistem pada waktu  $t$ , dan ruang *sample* dari  $X_t$  disebut himpunan kondisi atau ruang kondisi. Secara ringkas, terdapat probabilitas transisi tetap  $P_{ij}$  bahwa kondisi berikutnya akan  $j$  mengingat kondisi saat ini adalah  $i$  (Yates and David, 2005).

Peluang bersyarat,

$$P(X_{t+1} = j | X_t = i) = P_{ij},$$

disebut peluang transisi satu tahap, dan dikatakan menjadi *stasioner* jika

$$P(X_{t+1} = j | X_t = i) = P(X_1 = j | X_1 = i) \quad (2.2)$$

untuk  $t = 1, 2, \dots$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , dan  $j = 1, 2, \dots, m$ , sehingga probabilitas transisi yang diulang tidak berubah setiap waktu. Seluruh nilai peluang transisi dapat dilambangkan dalam bentuk matriks  $P = [P_{ij}]$ , disebut matriks probabilitas transisi satu tahap. Matriks  $P$  mempunyai  $m$  baris dan  $m$  kolom (Hiller and Gerald, 1990).

**Teorema 2.2.2 (Yates and David, 2005)**

Probabilitas transisi  $P_{ij}$  Rantai Markov memenuhi  $P_{ij} \geq 0$ , sehingga

$$\sum_{j=1}^{\infty} P_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.3)$$

Matriks  $P$  yang diberikan adalah gambaran probabilitas transisi satu tahap. Untuk probabilitas transisi  $n$ -tahap, mengikuti definisi berikut.

**Definisi 2.2.3 (Yates and David, 2005)**

Untuk Rantai Markov berhingga, probabilitas transisi  $n$ -tahap diberikan dengan matriks

$$P_{ij}^{(n)} = P(X_{t+n} = j | X_t = i) = P(X_{t+n} = j | X_1 = i) \quad (2.4)$$

untuk semua  $t=1,2,\dots, i = 1,2 \dots m$ , dan  $j = 1,2 \dots m$ . Elemen  $i$  dan  $j$  menjelaskan probabilitas perpindahan dari kondisi  $i$  ke kondisi  $j$  pada  $n$  tahap.

**Teorema 2.2.4 (Yates and David, 2005)**

Probabilitas  $n$ -tahap pada Rantai Markov, dapat digambarkan dalam sebuah matriks transisi  $n$ -tahap

$$P^{(n)} = [P_{ij}^{(n)}] \quad (2.5)$$

dimana

$$0 \leq p_{ij}^{(n)} \leq 1$$

$$n = 1, 2, \dots$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

dan

$$\sum_{j=1}^m P_{ij}^{(n)} = 1$$

$$n = 1, 2, \dots$$

$$i = 1, 2, \dots, m.$$

Matriks probabilitas transisi 0-tahap permulaan disebut matriks identitas (Yates dan David, 2005).

Probabilitas transisi dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$P^{(n)} =$$

Kondisi	1	2	.....	m
1	$P_{11}^{(n)}$	$P_{12}^{(n)}$	.....	$P_{1m}^{(n)}$
2	$\vdots$	$\vdots$	.....	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	.....	$\vdots$
m	$P_{m1}^{(n)}$	$P_{m2}^{(n)}$	.....	$P_{mn}^{(n)}$

untuk  $n = 1, 2, \dots$ , atau



$$P^{(n)} = \begin{bmatrix} P_{11}^{(n)} & \dots & P_{1m}^{(n)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m1}^{(n)} & \dots & P_{mm}^{(n)} \end{bmatrix}.$$

Matriks  $P$  dikatakan suatu peralihan yang *homogen* atau matriks *stokastik*, karena probabilitas transisi  $p_{ij}$  adalah konstan dan tidak tergantung waktu.

Sebuah Proses Stokastik  $\{X_t\}(t = 1, 2, \dots)$  disebut Rantai Markov keadaan terbatas, jika memenuhi sifat berikut (Hiller and Gerald, 1990).

1. Jumlah kondisi yang terbatas.
2. Sifat Markovian.
3. Probabilitas transisi stasioner.
4. Himpunan dari probabilitas awal  $P\{X_1 = i\}$  untuk semua  $i$ .

### 2.3 Penaksiran Parameter Markov

Proses Markov berwaktu diskrit dan memiliki kondisi terbatas  $X_t$ , dengan  $t = 1, 2, \dots, k$  ditentukan hukum probabilitas secara lengkap oleh parameter  $P_{ij}^{(n)}$  (di mana  $i$  dan  $j = 1, 2, \dots, m$ ) disebut sebagai probabilitas homogen satu langkah (Asri dkk, 1985).

Menentukan parameter probabilitas dari suatu permasalahan adalah menentukan sejumlah data yang mengalami peralihan kondisi dari suatu individu sampel dalam waktu tertentu. Menurut Bronson dan Naadimuthu (1978), terdapat dua kasus pengamatan untuk mendapatkan data transisi kondisi sampel terhadap suatu proses Markov, yaitu :

1. pengamatan terhadap peralihan kondisi individu sampel dalam selang waktu tertentu,
2. pengamatan terhadap peralihan kondisi individu sampel pada waktu yang sangat panjang.

Jika suatu proses Markov dengan koleksi kondisi  $I$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, m$ ) dilakukan pengamatan pada waktu yang diskrit ( $t = 1, 2, 3, \dots, t$ ),  $P_{ij}(t)$  adalah probabilitas bersyarat pada saat  $t$  dengan kondisi ke- $i$  serta berada pada kondisi ke- $j$  pada saat  $(t + 1)$ , sehingga dianggap ada  $r_1(1)$  sampel berada pada saat 1 memiliki kondisi  $k_1$ .

Probabilitas transisi homogen satu langkah dapat ditaksir dengan pengamatan transisi kondisi sampel yang ditarik dari  $N$  sampel pengamatan, dan dirancang dengan metode berikut.

**Tabel 2.1 Rancangan Pengamatan**

Kondisi	1	2	3	4	Jumlah S ke $t+1$
1	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$	$r_{14}$	$r_{1+}$
2	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$	$r_{24}$	$r_{2+}$
3	$r_{31}$	$r_{32}$	$r_{33}$	$r_{34}$	$r_{3+}$
4	$r_{41}$	$r_{42}$	$r_{43}$	$r_{44}$	$r_{4+}$

Tabel 2.1 menunjukkan transisi dari suatu individu sampel, dengan  $r_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$  dan  $j = 1, 2, 3, 4$ ) adalah jumlah pengamatan transisi kondisi ke- $i$  dan ke- $j$ . Untuk mengetahui probabilita transisinya, digunakan rumus

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_i^*}$$

dimana

$$r_i^* = \sum_{j=1}^4 r_{ij}$$

## 2.4 Keadaan Setimbang (*Steady State*)

Dalam proses markov, didefinisikan suatu probabilitas kondisi berikut.

### Definisi 2.4.1 (Yates and David, 2005)

Vektor  $\boldsymbol{\pi} = [\pi_1 \ \pi_2 \ \dots \ \pi_m]$  adalah vektor probabilitas kondisi apabila

$$\sum_{j=1}^m \pi_j = 1$$

dan setiap  $\pi_j$  adalah nonnegatif.



Proses markov memiliki tujuan utama yaitu mencapai keadaan setimbang (*Steady State*). Jika keadaan ini dicapai maka vektor probabilitas kondisi  $\pi \approx [\pi_1 \pi_2 \dots \pi_m]$  pada saat kondisi  $n \rightarrow \infty$  mencapai tingkat kestabilan dimana :

$$\pi^{(n-1)}P = \pi^{(n)}$$

Pada saat kondisi setimbang,  $\pi^{(n)} = \pi^{(n-1)} = \pi$ , sehingga kondisi *steady state* tercapai jika

$$\pi P = \pi$$

atau

$$\begin{aligned} \pi P - \pi I &\approx 0 \\ \pi(P - I) &= 0 \end{aligned} \tag{2.6}$$

dimana  $I$  merupakan matrik identitas,  $P$  adalah matriks probabilitas transisi awal, dan  $\pi$  adalah vektor probabilitas kondisi (Bronson dan Naadimuthu, 1978).

Sebelum menyelesaikan sistem persamaan (2.6), terlebih dahulu dikenalkan operasi baris elementer dan definisi *rank* suatu matriks untuk mengetahui suatu sistem persamaan mempunyai penyelesaian atau tidak.

Operasi baris elementer merupakan metode dasar untuk menentukan solusi suatu sistem persamaan linier. Dasar metode ini yaitu mengganti sistem persamaan dengan sistem persamaan baru yang mempunyai solusi sama namun lebih mudah diselesaikan. Terdapat tiga langkah utama operasi baris elementer pada suatu matriks yaitu:

1. mengalikan suatu baris dengan sebuah konstanta tidak nol,
2. menukar dua buah baris,
3. menambah kelipatan dari suatu baris ke baris lain.

**Contoh 2.1**

Suatu sistem persamaan diberikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x + y + 2z &= 9 \\ 2x + 4y - 3z &= 1 \\ 3x + 6y - 5z &= 0. \end{aligned}$$

Jadi bentuk matriksnya adalah:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & -3 \\ 3 & 6 & -5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Kemudian dibentuk matriks *augment*. Matriks *augment* adalah kombinasi matriks koefisien variabel dan vektor nilai kanan dari suatu sistem persamaan linier. Berikut matriks *augment* sistem persamaan linier Contoh 2.1.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 9 \\ 2 & 4 & -3 & 1 \\ 3 & 6 & -5 & 0 \end{bmatrix}$$

Baris pertama dikalikan dengan (-2) dan ditambahkan dengan baris kedua, menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 9 \\ 0 & 2 & -7 & -17 \\ 3 & 6 & -5 & 0 \end{bmatrix}$$

Baris pertama dikalikan dengan (-3) dan ditambahkan dengan baris ketiga, menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 9 \\ 0 & 2 & -7 & -17 \\ 0 & 3 & -11 & -27 \end{bmatrix}$$

Baris kedua dikalikan dengan  $\frac{1}{2}$ , menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 9 \\ 0 & 1 & -7/2 & -17/2 \\ 0 & 3 & -11 & -27 \end{bmatrix}$$

Baris kedua dikalikan dengan (-3) dan ditambahkan dengan baris ketiga, menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 9 \\ 0 & 1 & -7/2 & -17/2 \\ 0 & 0 & -1/2 & -3/2 \end{bmatrix}$$

Baris ketiga dikalikan dengan (-2) menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 9 \\ 0 & 1 & -7/2 & -17/2 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

Baris kedua dikalikan dengan (-1) dan ditambahkan dengan baris pertama menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 11/2 & 35/2 \\ 0 & 1 & -7/2 & -17/2 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

Baris ketiga dikalikan dengan  $(\frac{-11}{2})$  dan ditambahkan dengan baris pertama, serta baris ketiga dikalikan dengan  $(\frac{7}{2})$  dan ditambahkan dengan baris kedua, menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

Jadi, solusi Contoh 2.1 adalah

$$x = 1, \quad y = 2, \quad z = 3.$$

**Definisi 2.4.1 (Naipospos, 1983)**

*Rank* dari matriks  $A$  berukuran  $m \times n$ , menyatakan jumlah maksimum vektor-vektor baris/kolom yang bebas linier, dan dinotasikan dengan  $rank(A)$ .

Contoh :

Misal suatu matriks  $A$  diberikan sebagai berikut

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 2 & 0 & 4 & 5 & -3 \\ 3 & -7 & 2 & 0 & 1 & 4 \\ 2 & -5 & 2 & 4 & 6 & 1 \\ 4 & -9 & 2 & -4 & -4 & 7 \end{pmatrix}$$

Setelah dilakukan operasi baris elementer dari matriks tersebut, didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & -4 & -28 & -37 & -3 \\ 0 & 1 & -2 & -12 & -16 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Jumlah baris yang bebas linier pada matriks  $A$  berjumlah dua, jadi  $rank(A) = 2$ . Baris yang semua elemennya memuat nol diatas disebut *nullity*( $A$ ).

**Teorema 2.4.2 (Anton dan Chris. 1991)**

Jika  $A$  adalah matriks berukuran  $m \times n$ , maka  $rank(A) + nullity(A) = n$ .

Solusi sistem persamaan linier  $A\vec{x} = \mathbf{B}$ , dapat dilihat dari nilai  $rank(A)$ , dimana  $A$  adalah matriks koefisien dan  $\mathbf{B}$  adalah vektor konstanta.

**Teorema 2.4.3 (Anton dan Chris. 1991)**

Suatu sistem persamaan linier  $A\vec{x} = \mathbf{B}$ , dengan  $\mathbf{B}$  bukan vektor nol, mempunyai solusi (konsisten) jika dan hanya jika  $rank(A) = rank(A|\mathbf{B})$ , dimana  $[A|\mathbf{B}]$  adalah matriks *augmented*.

**Teorema 2.4.4 (Anton dan Chris. 1991)**

Sistem persamaan linier  $A\vec{x} = \mathbf{B}$  dengan  $m$  persamaan dan  $n$  variabel dan  $\mathbf{B}$  bukan vektor nol, mempunyai solusi tunggal (unik) jika dan hanya jika konsisten dan  $rank(A) = rank(A|\mathbf{B}) = n$ .

Teorema 2.4.3 dan 2.4.4 dapat digunakan untuk menentukan solusi persamaan (2.6). Langkah awal menyelesaikan persamaan (2.6) tersebut adalah menghitung hasil perkalian antara vektor probabilitas dengan matriks transisi yang telah dikurangi dengan matriks identitas (Anton dan Chris. 1991).

Misalkan  $P$  adalah matriks probabilitas transisi awal kondisi dengan ukuran  $n \times n$ , dan  $\pi$  merupakan vektor probabilitas kondisi dengan ukuran  $n \times 1$ . Sehingga,

$$\pi(P - I) = 0$$

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \dots \ \pi_n] \left( \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \right) = 0$$

$$[\pi_1 \ \pi_2 \ \dots \ \pi_n] \begin{bmatrix} p_{11} - 1 & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} - 1 & \dots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} - 1 \end{bmatrix} = 0$$

dengan syarat

$$\pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_n = 1$$

Jadi, sistem persamaan liniernya menjadi

$$\begin{aligned} \pi_1(p_{11} - 1) + \pi_2 p_{21} + \dots + \pi_n p_{n1} &= 0, \\ \pi_1 p_{12} + \pi_2(p_{22} - 1) + \dots + \pi_n p_{n2} &= 0, \\ \vdots & \\ \pi_1 p_{1n} + \pi_2 p_{2n} + \dots + \pi_n(p_{nn} - 1) &= 0 \\ \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_n &= 1. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) dapat kembali dijadikan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} p_{11} - 1 & p_{21} & \dots & p_{n1} \\ p_{12} & p_{22} - 1 & \dots & p_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1n} & p_{2n} & \dots & p_{nn} - 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \vdots \\ \pi_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) adalah sistem persamaan linier dengan  $n + 1$  baris dan  $n$  kolom. Sistem ini dapat ditentukan solusinya jika memenuhi teorema 2.4.3 dan 2.4.4. Untuk mengetahui nilai *rank*, matriks harus direduksi dengan cara operasi baris elementer. Jika Teorema 2.4.3 dan 2.4.4 dipenuhi dan matriks telah direduksi, maka persamaan (2.8) dapat ditentukan solusinya.

## 2.5 Pengertian dan Peranan Perawatan Mesin Produksi

Menurut Harsono (1990), perawatan alat produksi (*maintenance*) adalah suatu aktivitas untuk memelihara, menjaga fasilitas atau peralatan pabrik, dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian/penggantian yang diperlukan agar terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan, sesuai dengan apa yang direncanakan. Dengan adanya kegiatan *maintenance* ini, fasilitas/peralatan dapat dipergunakan untuk produksi sesuai dengan



rencana, dan tidak mengalami kerusakan selama fasilitas/peralatan tersebut dipergunakan untuk proses produksi atau sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai. Sehingga dapat diharapkan proses produksi berjalan lancar dan terjamin, karena kemungkinan-kemungkinan kemacetan yang disebabkan tidak baiknya beberapa fasilitas/peralatan produksi telah dihilangkan atau dikurangi.

Menurut Assauri (1993) tujuan utama fungsi perawatan adalah sebagai berikut.

1. Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
2. Menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
3. Membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang di luar batas, dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.
4. Mencapai tingkat biaya perawatan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan *maintenance* secara efektif dan efisien seluruhnya.
5. Menghindari kegiatan *maintenance* yang dapat membahayakan keselamatan pekerja.
6. Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi-fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka mencapai tujuan utama perusahaan, yaitu tingkat keuntungan atau *return of investment* yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

## **2.6 Jenis-jenis Perawatan Mesin Produksi**

Aktivitas perawatan yang dilakukan dalam suatu perusahaan, dapat dibedakan menjadi dua macam (Harsono, 1990).

### **2.6.1 Perawatan pencegahan (*Preventive Maintenance*)**

Perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah aktivitas pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tak terduga, dan menemukan keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi.

Dengan demikian semua fasilitas-fasilitas produksi yang mendapatkan *preventive maintenance* akan terjamin kelancaran kerjanya, dan selalu diusahakan dalam kondisi siap digunakan untuk setiap proses produksi setiap saat. Selain itu, memungkinkan dapat dibuatnya suatu rencana atau jadwal pemeliharaan dan perawatan yang sangat cermat serta rencana produksi yang lebih cepat.

Perawatan pencegahan ini sangat penting karena kegunaannya sangat efektif dalam menghadapi fasilitas/peralatan produksi yang termasuk golongan *critical unit*. Sebuah fasilitas atau peralatan produksi akan termasuk dalam golongan *critical unit*, apabila :

1. kerusakan fasilitas atau peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan atau keselamatan para pekerja,
2. kerusakan fasilitas ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan,
3. kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi,
4. modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini adalah cukup besar atau mahal.

Jika *preventive maintenance* dilaksanakan pada fasilitas atau peralatan yang termasuk dalam *critical unit*, maka tugas *maintenance* dapat dilakukan dengan suatu perencanaan yang intensif untuk unit yang bersangkutan.

Menurut Assauri (1993), dalam prakteknya, *preventive maintenance* yang dilakukan oleh perusahaan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *routine maintenance* dan *periodic maintenance*. *Routine maintenance* adalah aktivitas pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setiap hari. Misalnya pembersihan peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan oli, serta pengecekan isi bahan bakar dan mungkin termasuk pemanasan (*warming up*) mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai beroperasi sepanjang hari. Sedangkan *periodic maintenance* dapat dilakukan secara periodik atau jangka waktu tertentu. Misalnya setiap seminggu sekali, kemudian meningkat setiap sebulan sekali, dan akhirnya setiap setahun sekali. Kegiatan *periodic maintenance* ini lebih berat dari *routine maintenance*. Sebagai contoh dari kegiatan *periodic maintenance* adalah pembongkaran *carbulator* ataupun pembongkaran alat-alat di bagian sistem aliran bensin, penyetelan katup-katup pemasukan dan pembuangan *cylinder* mesin, dll.



## 2.6.2 *Corrective* atau *break down maintenance*

*Corrective* atau *break down maintenance* menurut Harsono (1990) adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan *corrective maintenance* yang sering dilakukan disebut kegiatan perbaikan atau reparasi. Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak dilakukannya *preventive maintenance* ataupun telah dilakukan *preventive maintenance* tetapi sampai pada waktu tertentu fasilitas atau peralatan tersebut tetap rusak. Jadi dalam hal ini kegiatan *maintenance* sifatnya hanya menunggu sampai fasilitas/peralatan mengalami kerusakan kemudian diperbaiki. Maksud dari tindakan perbaikan ini adalah agar fasilitas atau peralatan tersebut dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi sehingga proses produksi berjalan dengan lancar. Dengan demikian jika perusahaan hanya mengambil kebijakan untuk melakukan *corrective maintenance* saja, maka terdapatlah faktor ketidakpastian (*uncertainty*) dalam kelancaran proses produksinya akibat ketidakpastian akan kelancaran bekerjanya fasilitas atau peralatan produksi yang ada. Oleh karena itu, kebijakan untuk hanya melakukan *corrective maintenance* tanpa *preventive maintenance*, akan menimbulkan akibat-akibat yang dapat menghambat ataupun memacetkan kegiatan produksi apabila terjadi kerusakan yang tiba-tiba pada fasilitas produksi yang digunakan.

Secara sepintas terlihat *corrective maintenance* saja lebih murah biayanya dari pada mengadakan *preventive maintenance*. Hal ini adalah benar selama kerusakan belum terjadi pada fasilitas/peralatan selama proses produksi berlangsung. Namun sekali kerusakan terjadi pada fasilitas/peralatan selama proses produksi berlangsung, akibat dari kebijakan melakukan *corrective maintenance* saja akan jauh lebih parah dari *preventive maintenance* sehingga terjadi kenaikan biaya-biaya pemeliharaan dan perawatan pada saat terjadinya kerusakan tersebut.

## 2.7 Masalah Efisiensi dalam Perawatan

Di dalam pelaksanaan perawatan terdapat dua persoalan yang dihadapi oleh suatu perusahaan yaitu masalah teknis dan masalah ekonomis. Adapun yang merupakan persoalan teknis dalam hal ini

adalah persoalan yang menyangkut usaha-usaha untuk menghilangkan kemungkinan-kemungkinan timbulnya kemacetan yang disebabkan karena kondisi fasilitas atau peralatan produksi yang tidak baik. Dalam masalah teknis ini yang perlu diperhatikan adalah :

1. tindakan-tindakan yang harus dilakukan untuk memelihara/merawat peralatan yang ada, dan untuk memperbaiki/reparasi mesin-mesin atau peralatan yang rusak,
2. alat-alat atau komponen-komponen yang dibutuhkan dan harus disediakan agar tindakan-tindakan pada bagian pertama diatas dapat dilakukan.

Disamping permasalahan teknis tersebut, tentu yang menjadi persoalan serius adalah persoalan ekonomis. Kegiatan *maintenance* yang dilakukan diharapkan mengeluarkan biaya yang tidak besar. Jadi dalam persoalan ekonomis sangat ditekankan efisiensi, dengan memperhatikan besarnya biaya dan tindakan yang dipilih. Jadi dalam hal ini, diperlukan adanya perbandingan untuk setiap tindakan yang dapat diambil. Adapun biaya-biaya yang terdapat dalam kegiatan *maintenance* adalah biaya pengecekan dan penyetulan, biaya *service*, biaya penyesuaian dan biaya perbaikan atau reparasi (Assauri, 1993).

Dengan memperhatikan variabel-variabel keputusan yang dibuat, kebijaksanaan perawatan nantinya akan berupa kombinasi pilihan antara perawatan korektif dan perawatan preventif.

## **2.8 Klasifikasi Kondisi Kerusakan Mesin**

Menurut Dimiyati dan Dimiyati (1999), kondisi kerusakan suatu mesin diklasifikasikan menjadi 4 macam, yaitu :

1. Kondisi baik (Kondisi 1)

Suatu mesin dikatakan dalam kondisi baik apabila mesin tersebut dapat digunakan untuk operasi dengan ketentuan-ketentuan yang telah disetujui, diantaranya mesin yang masih baru, mesin tidak mengalami kerusakan selama proses produksi.

2. Kondisi kerusakan ringan (Kondisi 2)

Suatu mesin dikatakan mengalami kerusakan ringan apabila mesin tersebut dapat beroperasi dengan baik namun terjadi kerusakan-kerusakan kecil. Akibat yang ditimbulkan relatif

ringan dengan biaya perbaikan yang relative kecil, diantaranya baut kendur, pisau tumpul atau *belt* kendur.

3. Kondisi kerusakan sedang (Kondisi 3)

Suatu mesin dikatakan mengalami kerusakan sedang apabila mesin tersebut dapat beroperasi namun kondisinya mengkhawatirkan dan sewaktu-waktu proses produksi dapat berhenti, antara lain roda gigi aus.

4. Kondisi kerusakan berat (Kondisi 4)

Suatu mesin dikatakan mengalami kerusakan berat apabila tidak dapat digunakan untuk beroperasi sehingga proses produksi berhenti. Waktu untuk perbaikan relatif lama dengan perbaikan relatif besar, bahkan bisa memungkinkan diikuti dengan pergantian komponen (*overhaul*). Kondisi yang termasuk disini antara lain *belt* putus, roda penggilingan goyang.

## 2.9 Proses Pengambilan Keputusan

Menurut Supranto (1991), secara populer dapat dikatakan bahwa mengambil atau membuat keputusan berarti memilih satu diantara sekian banyak alternatif. Setiap orang, tidak harus pimpinan, dapat membuat keputusan akan tetapi dampak keputusan yang ditimbulkan berbeda-beda, ada yang sempit dan ada yang luas ruang lingkup yang terkena dampak atau pengaruh tersebut. Pada umumnya suatu keputusan dibuat dalam rangka untuk memecahkan permasalahan atau persoalan (*problem solving*), setiap keputusan yang dibuat pasti ada tujuan yang akan dicapai.

Inti dari pengambilan keputusan adalah terletak dalam perumusan berbagai alternatif tindakan sesuai dengan yang sedang dalam perhatian dan dalam pemilihan alternatif yang tepat setelah suatu evaluasi mengenai efektivitasnya dalam mencapai tujuan yang dikehendaki pengambil keputusan. Salah satu komponen terpenting dari proses pembuatan keputusan adalah kegiatan pengumpulan informasi dari mana suatu apresiasi mengenai situasi keputusan dapat dibuat.

Elemen ketidakpastian (*uncertainty*) akan muncul di dalam proses pembuatan keputusan apabila data tidak lengkap atau merupakan peramalan saja. Elemen ketidakpastian ini akan menimbulkan resiko bagi pembuatan keputusan. Ketidakpastian

merupakan ciri situasi keputusan yang paling sering dijumpai oleh manajemen yang modern. Selain itu juga merupakan faktor yang sering menimbulkan kesulitan berat dalam proses pengambilan keputusan.

## 2.10 Keputusan Markov

Misalkan diketahui suatu sistem dinamis yang diamati pada titik-titik waktu yang berjarak sama  $t = 1, 2, \dots$  (diskrit). Pada tiap titik waktu ini, sistem diklasifikasi ke dalam satu dari sejumlah kondisi yang mungkin dan setelah itu ditentukan keputusan yang ingin diambil. Himpunan kondisi yang mungkin dinyatakan dengan  $I$ . Untuk setiap kondisi  $i \in I$ , ada suatu himpunan  $S(i)$  dari keputusan (atau *action*) yang mungkin. Himpunan semua kondisi  $I$  dan himpunan aksi  $S(i)$  diasumsikan berhingga. Konsekuensi ekonomis dari keputusan yang diambil pada titik waktu yang ditinjau (waktu keputusan) digambarkan dalam bentuk harga (*cost* atau *reward*). Sistem dinamis terkontrol ini disebut model keputusan Markov dengan waktu diskrit bila sifat Markov berikut dipenuhi, yakni jika pada suatu titik waktu keputusan aksi  $k$  terpilih dalam kondisi  $i$  dimana  $k \in S(i)$ , maka tanpa memperhatikan kejadian yang telah lalu dalam sistem, didapatkan:

1. pengeluaran langsung (*immediate cost*) sebesar  $q_i^k$ ,
2. titik waktu keputusan selanjutnya sistem akan berada di kondisi  $j$  dengan probabilitas  $P_{ij}$  dimana:

$$\sum_{j=1} P_{ij}(k) = 1$$

dan  $i = 1, 2, 3 \dots m$ .

Probabilitas transisi antar kondisi,  $i, j \in I$ , pada suatu keputusan  $s$  atau  $P_{ij}(s)$  dan taksiran pengeluaran  $q_i^k$  ini dapat diestimasi dengan pendekatan bayesian (Rosadi, 2000).

Terdapat dua metode matematis menurut Taha (1992) untuk mencari solusi dari keputusan Markov. Metode pertama adalah mendaftar semua kemungkinan kebijakan stasioner dari masalah keputusan. Dengan mengevaluasi masing-masing kebijakan, solusi optimal dapat ditentukan. Hal ini yang mendasari dari proses enumerasi lengkap dan dapat digunakan jika total kebijakan stasioner kecil.



Metode ke dua adalah iterasi kebijakan, lebih mudah dalam perhitungan dibanding dengan metode enumerasi lengkap. Namun keduanya akan menghasilkan solusi optimal yang sama.

### 2.10.1 Metode enumerasi lengkap

Misalkan masalah keputusan mempunyai  $S$  total kebijakan stasioner, dan diasumsikan bahwa  $P^s$  adalah matriks probabilitas transisi satu langkah dan  $C^s$  adalah dan matriks biaya dengan kebijakan ke- $s$ ,  $s = 1, 2, \dots, S$ . Langkah atau algoritma metode enumerasi lengkap adalah sebagai berikut (Taha, 1992).

1. Menghitung ekspektasi biaya satu langkah ( $v_i^s$ ) dari kebijakan  $s$  pada kondisi  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , dengan menggunakan rumus

$$v_i^s = \sum_{j=1}^m p_{ij}^s c_{ij}^s \quad (2.9)$$

dimana  $p_{ij}^s$  adalah probabilitas transisi dari state  $i$  ke state  $j$  pada kebijakan  $s$ , dan  $c_{ij}^s$  adalah biaya pada transisi dari state  $i$  ke state  $j$  pada kebijakan  $s$ .

2. Menghitung probabilitas stasioner jangka panjang ( $\pi_i^s$ ) dari matriks probabilitas transisi satu langkah  $P^s$  dengan kebijakan  $s$ . Probabilitas ini, jika ada, adalah perhitungan dari persamaan

$$\begin{aligned} \pi^s P^s &= \pi^s \\ \pi_1^s + \pi_2^s + \dots + \pi_m^s &= 1 \end{aligned}$$

dengan

$$\pi^s = (\pi_1^s, \pi_2^s, \dots, \pi_m^s).$$

3. Menentukan, ekspektasi biaya ( $E^s$ ) kebijakan  $s$  setiap langkah transisi, dengan menggunakan rumus

$$E^s = \sum_{i=1}^m \pi_i^s v_i^s. \quad (2.10)$$

4. Kebijakan optimal  $s^*$  ditentukan dengan

$$E^{s^*} = \min\{E^s\}.$$

### 2.10.2 Metode iterasi kebijakan

Metode iterasi kebijakan merupakan metode yang memerlukan penyelesaian sistem persamaan linier setiap



langkahnya. Algoritma metode iterasi kebijakan adalah sebagai berikut (Rosadi, 2000).

- 1) Memilih kebijakan  $S = \{S_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ .
- 2) Untuk menentukan  $S$ , ditentukan penyelesaian tunggal pada sistem persamaan linier berikut:

$$v_i = q_i(S_i) - g + \sum_{j=1}^m p_{ij}(S_i)v_j, \quad i \in I$$

atau

$$g + v_i = q_i(S_i) + \sum_{j \in I} P_j(S_i)v_j \quad (2.11)$$

dengan

$$v_x = 0$$

$v$  adalah nilai *cost* relatif,  $g$  adalah nilai ekspektasi *cost* per unit waktu jika system telah berjalan dengan waktu tak hingga dan  $x$  adalah suatu kondisi yang dipilih sembarang.

- 3) Untuk setiap kondisi  $i = 1, 2, \dots, m$ , dihitung kuantitas uji menggunakan persamaan (2.12) dan ditentukan keputusan  $k$  yang memberi nilai minimum

$$q_i^{(k)} + \sum_{j=1}^m p_{ij}^{(k)} v_j(S) - g \quad (2.12)$$

$$\min_k \left\{ q_i^{(k)} + \sum_{j=1}^m p_{ij}^{(k)} v_j(S) - g \right\}$$

Nilai  $k$  minimum untuk setiap kondisi  $i$  ini disebut sebagai keputusan  $S_i$ . Dari sini, akan didapatkan kebijakan baru  $S = \{S_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ .

- 4) Jika kebijakan baru dari langkah ketiga sama dengan kebijakan dari iterasi sebelumnya, maka iterasi berhenti. Jika tidak, diulang langkah kedua dan ketiga sampai iterasi konvergen, yakni kebijakan baru yang diperoleh sama dengan kebijakan iterasi sebelumnya.

## 2.11 Kegunaan Probabilitas dan Keputusan Markov

Suatu item dalam operasinya akan mengalami kemungkinan transisi kondisi yang berpindah dari suatu kondisi ke kondisi yang lain. Jika dalam selang yang cukup pendek terdapat empat kemungkinan kondisi, maka untuk mengganti kondisi dilakukan beberapa tindakan yang sesuai dengan kondisi. Suatu mesin akan dicatat dan diklasifikasikan ke dalam salah satu klasifikasi kondisi mesin. Kondisi 1 menyatakan mesin dalam kondisi baik, kondisi 2 mesin mengalami kerusakan ringan, kondisi 3 mesin sedang mengalami kerusakan sedang dan mesin mengalami kerusakan berat pada kondisi 4 (Dimiyati dan Dimiyati, 1999).

Berdasarkan kondisi mesin tersebut, perusahaan akan mengambil keputusan-keputusan yang sangat berperan dalam perawatan. Tindakan-tindakan yang dapat dilakukan oleh perusahaan adalah sebagai berikut.

**Tabel 2.2 Tindakan yang dilakukan**

<b>Keputusan</b>	<b>Tindakan yang dilakukan</b>
1	Tidak dilakukan tindakan
2	Perawatan pencegahan (sistem kembali ke kondisi sebelumnya)
3	Perawatan korektif (sistem kembali ke kondisi 1)

Berpedoman dari Tabel 2.2, pada keputusan 1 perusahaan tidak akan melakukan tindakan apapun sehingga kondisi mesin tetap berada pada kondisi saat ini. Hal ini terjadi dimungkinkan karena mesin masih baru atau mesin tidak mengalami kerusakan selama proses produksi. Pada keputusan 2 perusahaan akan melakukan perawatan pencegahan pada mesin yang mengalami kerusakan ringan ataupun sedang sehingga kondisi mesin akan kembali ke kondisi sebelumnya. Hal ini dikarenakan perawatan pencegahan yang berupa perbaikan-perbaikan kecil tidak memerlukan waktu yang lama dalam perbaikannya. Sedangkan keputusan yang ketiga adalah perusahaan melakukan perawatan korektif apabila mesin tidak dapat beroperasi sehingga proses produksi berhenti. Setelah dilakukan perawatan korektif ini, kondisi mesin akan kembali ke kondisi awal atau kondisi I. Hal ini dikarenakan mesin yang

mengalami kerusakan parah akan diperbaiki dengan waktu yang relatif lama dan membutuhkan biaya yang besar.

Perawatan mesin yang optimum akan mengurangi biaya perawatan yang dikeluarkan perusahaan, sehingga diusulkan beberapa perencanaan perawatan mesin yang didapat dari perubahan matriks transisi awal sesuai tindakan yang akan dilakukan.

Proses Rantai Markov didasarkan pembentukan matrik transisi, yaitu peluang bersyarat dari suatu sistem yang berada dalam keadaan  $x_n$  pada saat  $t_n$ , bila diketahui bahwa sistem ini berada dalam keadaan  $x_{n-1}$  pada saat  $t_{n-1}$ . Berdasarkan asumsi tersebut, bisa dikatakan bahwa suatu item mempunyai probabilitas transisi  $P_{ij}$ , yang menyatakan bahwa suatu item berada pada keadaan  $i$  dan dalam interval waktu berikutnya berada pada keadaan  $j$ .

## 2.12 Biaya Down Time

Pada saat dilakukannya perawatan atau perbaikan mesin produksi, terjadi kehilangan *profit* karena mesin tidak berproduksi. Biaya yang hilang tersebut disebut biaya *down time*. Pada umumnya, biaya *down time* dinyatakan dalam *profit* per satuan waktu yang hilang (Assaury, 1993).

## 2.13 Analisis Biaya Perawatan

Menurut Assaury (1993), biaya penyelenggaraan perawatan adalah biaya yang dikeluarkan setiap kali melakukan upaya perawatan dan perbaikan. Biaya tersebut tidak tergantung pada jumlah mesin yang diperiksa atau diperbaiki, namun faktor utama yang menentukan biaya penyelenggaraan perawatan adalah biaya *down time*, karena setiap melakukan perawatan periodik terdapat jam produksi yang dikorbankan. Biaya penyelenggaraan perawatan dinyatakan sebagai jumlah biaya *down time* yang timbul karena perawatan atau perbaikan. Jika perawatan pencegahan item- $i$  dilambangkan  $C_{2i}$ , maka dapat dinyatakan sebagai berikut.

$C_{2i}$  = waktu rata-rata perawatan  $\times$  biaya *down time* per jam pencegahan per tahun.

Mesin juga dapat mengalami kondisi tidak berfungsi untuk menghasilkan output atau yang disebut kerusakan. Hal ini akan menyebabkan adanya biaya tambahan untuk biaya perbaikan mesin. Kerusakan mesin ini dapat dicegah dengan melakukan upaya

perawatan yang rutin. Jika biaya perawatan korektif item- $i$  dilambangkan  $C_{3i}$ , maka dinyatakan sebagai berikut.

$C_{3i}$  = waktu rata-rata kerusakan  $\times$  biaya *down time* per jam pencegahan per tahun.

## 2.14 Ekspektasi Biaya

Menurut Assaury (1993), biaya perawatan untuk setiap item didapat dari biaya perawatan pencegahan dan biaya perbaikan. Apabila keduanya dikalikan dengan probabilitas kondisi dalam keadaan setimbang (*steady state*) pada jangka panjang maka didapat ekspektasi biaya atau biaya rata-rata yang diharapkan untuk masing-masing perawatan. Ekspektasi biaya dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$E = \sum_{i=1}^4 C_{ki}\pi_i \quad (2.13)$$

keterangan :

$\pi_i$  = probabilitas kondisi pada jangka panjang

$C_{ki}$  = ekspektasi biaya yang diadakan pada transisi selanjutnya bila sistem dalam keadaan  $i$  dan keputusan  $k$  dibuat.

## 2.15 Sejarah Perusahaan

PT. Pindad merupakan perusahaan industri manufaktur Indonesia yang bergerak di bidang produk militer dan produk komersial. Kegiatan PT. Pindad meliputi desain, pengembangan, rekayasa, perakitan, pabrikan dan perawatan. Berdiri pada tahun 1908 sebagai bengkel peralatan militer di Surabaya dengan nama *Artilleri Construction Wingkel* (ACW). Berkembang menjadi pabrik dan mengalami perubahan nama *Artillerie Inrichtingen* (AI). AI dipindah ke Bandung pada tahun 1921.

Tahun 1942, pada masa penjajahan Jepang, AI berganti nama menjadi *Dai Ichi Kozo* (DIK) dan 1947 berganti nama kembali menjadi *Lager Productie Bedrijven* (LPB).

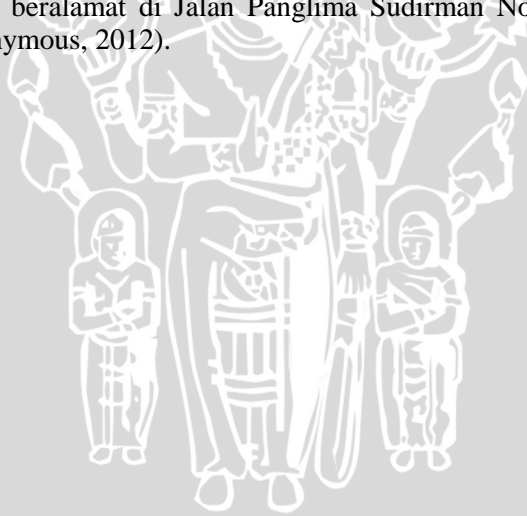
Setelah merdeka, tahun 1950 Belanda menyerahkan LPB pada pemerintah. Pada tanggal 29 April 1950, yang selanjutnya diperingati sebagai hari jadi perusahaan, pabrik berganti nama menjadi Pabrik Senjata dan Mesin (PSM). Pada tahun 1962, PSM berubah menjadi



sebuah industri alat militer yang dikelola oleh Angkatan Darat (AD), sehingga berubah nama menjadi Perindustrian Angkatan Darat (Pindad).

PT. Pindad berubah status menjadi BUMN dengan nama PT. Pindad (Persero) pada tanggal 29 April 1983. Kemudian pada tahun 1989, perusahaan ini berada di bawah Badan Pengelola Industri Strategis (BPIS) yang kemudian berubah lagi menjadi PT. Bahana Prakarya Industri Strategis (Pesero). Tahun 2002 PT. BPIS (Persero) dibubarkan pemerintah, dan sejak itu PT. Pindad beralih status menjadi PT. Pindad (Persero) yang langsung berada di bawah pembinaan kementerian BUMN.

Bentuk hukum perusahaan adalah Perseroan Terbatas sesuai dengan Keputusan Presiden No. 4 tahun 1983 dan Akte PT.N.30 tanggal 29 April 1983. Produksi perusahaan adalah  $\pm 80\%$  produk militer dan  $\pm 20\%$  produk komersil. Produk militer berupa munisi, sedangkan produk komersil berupa bahan peledak komersil (petasan dan kembang api). PT. Pindad (Persero) terletak di Bandung dan Malang. Di Malang, beralamat di Jalan Panglima Sudirman No. 1 Turen-Malang (Anonymous, 2012).





## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif. Menurut Surakhmad (1998), penelitian deskriptif tertuju pada pemecahan masalah yang ada pada masa sekarang. Pelaksanaan metode deskriptif tidak terbatas hanya sampai pengumpulan dan penyusunan data, tetapi juga meliputi analisa dan interpretasi tentang arti data tersebut. Oleh karena itu, dapat terjadi sebuah penelitian deskriptif dengan membandingkan persamaan dan perbedaan fenomena tertentu, kemudian mengambil bentuk studi komperatif. Ciri dari penelitian deskriptif adalah pemusatan pada pemecahan masalah yang terjadi pada masa sekarang atau masalah yang aktual. Data yang dikumpulkan mula-mula disusun, dijelaskan kemudian dianalisa.

Jenis metode deskriptif yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi kasus. Studi kasus menurut Surakhmad (1998), memusatkan pada suatu kasus secara intensif dan mendetail. Subyek yang diselidiki terdiri dari satu unit (atau satu kesatuan unit) yang dipandang sebagai kasus.

#### **3.2 Jenis dan Sumber Data**

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data primer. Data primer adalah data yang didapat dari pihak pertama (Surakhmad, 1998). Data primer tersebut digunakan untuk membentuk model Rantai Markov.

Selain mengambil data primer, penelitian juga dilakukan dengan cara wawancara untuk mendapat informasi lebih rinci tentang mesin. Informasi tersebut antara lain tentang jenis, perilaku dan cara kerja mesin, perawatan mesin yang dilakukan, kerusakan-kerusakan yang terjadi pada mesin dan lain-lain yang menyangkut mesin. Wawancara dilakukan langsung dengan kepala sub Departemen Harduk PT Pindad (Persero) Turen-Malang. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 07 Desember 2011 s/d 31 Januari 2012.

Data primer ini berupa data kerusakan dan perawatan mesin dalam bentuk buku riwayat mesin yang telah dicatat sebelumnya

oleh PT Pindad (Persero) Turen-Malang. Perusahaan tersebut adalah perusahaan milik negara yang memproduksi amunisi senjata.

Dalam penelitian ini, mesin yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah sebagai berikut:

1. mesin bubut sebanyak 22 buah,
2. mesin frais sebanyak 4 buah,
3. mesin asah / *grinding* sebanyak 28 buah.

Mesin tersebut adalah tiga dari beberapa mesin pendukung yang cukup berpengaruh terhadap produksi bahan senjata di PT. Pindad (Persero). Tanpa ada perawatan yang tepat, dimungkinkan terjadi pengeluaran biaya yang kurang tepat juga sehingga berpengaruh dalam proses produksi.

Mesin bubut adalah adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Mesin frais adalah sejenis mesin perkakas untuk mengerjakan peralatan mesin dari logam dengan gerakan utama alat potongnya berputar. Mesin asah adalah mesin yang digunakan untuk mengurangi ukuran partikel bahan dari bentuk kasar menjadi ukuran yang lebih halus untuk menyempurnakan proses *mixing* yaitu hasil pencampuran yang merata dan menghindari segregasi partikel-partikel bahan.

### 3.3 Analisis Data

1. Menentukan lokasi pengambilan data yang akan disesuaikan dengan tujuan penelitian. Dalam hal ini, dipilih perusahaan besar yang memproduksi barang penting dan perusahaan yang menggunakan alat berat dalam produksinya.
2. Pengumpulan dan pengolahan data : berdasarkan kriteria yang ditentukan, dipilih PT Pindad (Persero) Turen-Malang yang memproduksi amunisi senjata sebagai tempat penelitian yang akan diambil data kerusakan mesin dalam suatu periode. Data dipilih dan direduksi sesuai dengan masalah dalam penelitian ini. Data yang diperlukan adalah data peralihan kondisi mesin yang didapat dari data kerusakan mesin per periode. Selain itu, juga diperlukan informasi biaya *down time*, biaya tetap perawatan dan waktu yang dipakai untuk perawatan. Data yang telah diolah dan diklasifikasikan sesuai kondisi, dibentuk matriks transisi dengan cara menghitung jumlah mesin yang beralih kondisi dalam suatu periode dibagi dengan jumlah total mesin yang memiliki kondisi

awal yang sama. Matriks yang diperoleh adalah model yang akan ditentukan solusinya.

3. Analisis hasil: dalam analisis hasil ini dilakukan beberapa langkah, yaitu sebagai berikut.

a. Memodelkan masalah kerusakan menjadi model stokastik yang akan ditentukan solusinya. Dalam memodelkan ini, dilakukan beberapa langkah sebagai berikut.

1) Data kerusakan mesin selama 6 bulan diolah menjadi tabel seperti pada Lampiran 1.

2) Membentuk tabel transisi kondisi mesin setiap bulan beserta rata-ratanya selama enam bulan. Kondisi mesin diklasifikasikan menjadi empat kondisi sesuai pada sub bab 2.8.

3) Menghitung jumlah kondisi awal mesin setiap bulan.

4) Menghitung probabilitas awal transisi kondisi dengan cara membagi rata-rata jumlah mesin yang mengalami transisi, dengan rata-rata jumlah mesin yang memiliki transisi awal sama setiap bulan.

b. Menentukan solusi optimal model dengan dua metode, yaitu metode enumerasi lengkap dan iterasi kebijakan. Langkah atau algoritma metode enumerasi lengkap adalah sebagai berikut.

5. Menentukan alternatif kebijakan yang dapat dilakukan perusahaan. Pada skripsi ini, diambil enam jenis kebijakan dengan mempertimbangkan kondisi mesin.

6. Menghitung biaya ekspektasi satu langkah dari semua kebijakan pada setiap kondisi, menggunakan persamaan (2.9).

7. Menghitung probabilitas stasioner jangka panjang dari matriks transisi pada setiap kebijakan.

8. Menentukan biaya ekspektasi kebijakan setiap langkah transisi, menggunakan persamaan (2.10).

9. Menentukan kebijakan optimal yaitu memilih biaya ekspektasi minimum yang diperoleh dari langkah 3.

Sedangkan algoritma metode iterasi kebijakan adalah sebagai berikut.

1) Memilih sembarang kebijakan awal pada masing-masing kondisi.

- 2) Menentukan penyelesaian tunggal pada sistem persamaan linier persamaan (2.11) dengan mengasumsikan  $v_x = 0$ , dimana  $x$  adalah satu kondisi yang dipilih sembarang.
  - 3) Untuk setiap kondisi, dihitung kuantitas uji menggunakan persamaan (2.12) dan ditentukan keputusan  $k$  yang memberi nilai minimum. Nilai  $k$  minimum untuk setiap kondisi ini disebut sebagai keputusan. Dari sini, akan didapatkan kebijakan baru.
  - 4) Jika kebijakan baru dari langkah ketiga sama dengan kebijakan dari satu langkah sebelumnya, maka iterasi berhenti. Jika tidak, diulang langkah kedua dan ketiga sampai iterasi konvergen, yakni kebijakan baru yang diperoleh sama dengan kebijakan iterasi sebelumnya.
- c. Dari kedua metode pada langkah (b) dibandingkan untuk mengetahui metode yang lebih efisien dalam perhitungan.



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Model Kerusakan Mesin**

Kerusakan mesin dapat dirumuskan menjadi model matematis yang dapat ditentukan solusinya. Dalam membentuk model tersebut, dilakukan beberapa langkah sebagai berikut.

##### **1. Membentuk transisi kondisi mesin**

Langkah awal dalam membentuk model kerusakan mesin ini adalah mengolah data agar dapat ditentukan transisi kerusakan mesin setiap periodenya. Dengan menggunakan data pada Lampiran 1, dibuat tabel transisi kondisi masing-masing mesin selama enam bulan dan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.3. Pada ketiga tabel tersebut menjelaskan transisi mesin bubuk, mesin frais dan mesin asah. Kolom pertama merupakan urutan bulan dari April sampai dengan September, sedangkan baris pertama adalah perubahan/transisi kondisi. Pada baris terakhir menunjukkan rata-rata jumlah mesin yang mengalami transisi selama enam bulan. Misalkan pada bulan April, perubahan dari kondisi kerusakan baik menjadi baik sebanyak 15 mesin bubuk, 3 mesin frais dan 21 mesin asah.





**Tabel 4.1 Transisi kondisi mesin bubut**

Bulan	Transisi kondisi									
	1 1	1 2	1 3	1 4	2 2	2 3	2 4	3 3	3 4	4 4
April	15	4	1	0	0	0	0	1	1	0
Mei	16	1	1	2	0	1	0	0	1	0
Juni	20	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Juli	21	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Agustus	19	1	1	0	1	0	0	0	0	0
September	19	1	0	1	0	0	0	0	0	1
<b>Rata-rata</b>	<b>18.33</b>	<b>1.33</b>	<b>0.67</b>	<b>0.5</b>	<b>0.33</b>	<b>0.167</b>	<b>0</b>	<b>0.167</b>	<b>0.33</b>	<b>0.167</b>

Sumber : data sekunder

**Tabel 4.2 Transisi kondisi mesin frais**

Bulan	Transisi kondisi									
	1 1	1 2	1 3	1 4	2 2	2 3	2 4	3 3	3 4	4 4
April	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Mei	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Juni	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Juli	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Agustus	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0
September	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0
<b>Rata-rata</b>	<b>2.5</b>	<b>0.33</b>	<b>0.33</b>	<b>0</b>	<b>0.167</b>	<b>0.167</b>	<b>0</b>	<b>0.167</b>	<b>0.167</b>	<b>0.167</b>

Sumber : data sekunder

**Tabel 4.3 Transisi kondisi mesin asah**

Bulan	Transisi kondisi									
	1 1	1 2	1 3	1 4	2 2	2 3	2 4	3 3	3 4	4 4
April	21	5	0	0	0	1	0	0	1	0
Mei	27	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Juni	23	4	1	0	0	0	0	0	0	0
Juli	22	2	1	0	1	1	0	0	1	0
Agustus	20	4	1	1	1	0	0	1	0	0
September	22	3	0	1	0	1	0	0	0	1
<b>Rata-rata</b>	<b>22.5</b>	<b>3.17</b>	<b>0.5</b>	<b>0.33</b>	<b>0.33</b>	<b>0.5</b>	<b>0</b>	<b>0.167</b>	<b>0.33</b>	<b>0.167</b>

Sumber : data sekunder

Keterangan :

- 1 1 : transisi mesin dari kondisi baik ke kondisi baik
- 1 2 : transisi mesin dari kondisi baik ke kondisi kerusakan Ringan
- 1 3 : transisi mesin dari kondisi baik ke kondisi kerusakan sedang
- 1 4 : transisi mesin dari kondisi baik ke kondisi kerusakan berat
- 2 2 : transisi mesin dari kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan ringan
- 2 3 : transisi mesin dari kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan ringan
- 2 4 : transisi mesin dari kondisi kerusakan ringan ke kondisi kerusakan berat
- 3 3 : transisi mesin dari kondisi kerusakan sedang ke kondisi kerusakan sedang
- 3 4 : transisi mesin dari kondisi kerusakan sedang ke kondisi kerusakan berat
- 4 4 : transisi mesin dari kondisi kerusakan berat ke kondisi kerusakan berat

Menurut batasan masalah, tata cara perawatan oleh perusahaan tidak diperhatikan. Sehingga tidak ada transisi dari kondisi ( $i$ ) ke kondisi ( $j$ ) dengan  $j > i$  dan  $i, j = 1, 2, 3, 4$ .

**2. Menghitung jumlah rata-rata mesin yang memiliki kondisi awal sama**

Sebelum menghitung probabilitas transisi mesin pada enam bulan, terlebih dahulu dihitung jumlah rata-rata mesin yang memiliki kondisi awal sama dan disajikan pada Tabel 4.4 sampai dengan Tabel 4.6. Kolom pertama pada tabel menunjukkan kondisi mesin pada awal periode. Sedangkan baris pertama pada tabel menunjukkan kondisi akhir mesin pada akhir periode.

**Tabel 4.4 Jumlah rata-rata kondisi awal mesin bubut**

<b>Akhir</b> <b>Awal</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Jumlah</b>
<b>1</b>	18.33	1.33	0.67	0.5	20.83
<b>2</b>	0	0.33	0.167	0	0.497
<b>3</b>	0	0	0.167	0.33	0.497
<b>4</b>	0	0	0	0.167	0.167

**Tabel 4.5 Jumlah rata-rata kondisi awal mesin frais**

<b>Akhir</b> <b>Awal</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Jumlah</b>
<b>1</b>	2.5	0.33	0.33	0	3.16
<b>2</b>	0	0.167	0.167	0	0.334
<b>3</b>	0	0	0.167	0.167	0.334
<b>4</b>	0	0	0	0.167	0.167

**Tabel 4.6 Jumlah rata-rata kondisi awal mesin asah**

<b>Akhir</b> <b>Awal</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Jumlah</b>
<b>1</b>	22.5	3.17	0.5	0.33	26.5
<b>2</b>	0	0.33	0.5	0	0.83
<b>3</b>	0	0	0.167	0.33	0.497
<b>4</b>	0	0	0	0.167	0.167

Keterangan :

1 = Kondisi mesin baik,

2 = Kondisi mesin mengalami kerusakan ringan,

3 = Kondisi mesin mengalami kerusakan sedang,

4 = Kondisi mesin mengalami kerusakan berat

Pada Tabel 4.4 sampai dengan 4.6, kolom terakhir menunjukkan jumlah rata-rata mesin yang memiliki kondisi awal sama. Misalkan pada Tabel 4.4, jumlah rata-rata mesin bubut yang memiliki kondisi awal 1 sebanyak 20.83 mesin, kondisi awal 2 sebanyak 0.497 mesin, kondisi awal 3 sebanyak 0.497 mesin, dan kondisi awal 4 sebanyak 0.167 mesin. Demikian pula sama pada mesin lainnya. Jumlah rata-rata mesin yang memiliki kondisi awal sama tersebut, digunakan sebagai pembagi untuk mencari nilai peluang transisi kondisi mesin.

### **3. Menghitung probabilitas transisi kondisi mesin**

Probabilitas transisi kondisi mesin dihitung dengan cara membagi jumlah mesin yang mengalami transisi kondisi dengan jumlah mesin yang memiliki kondisi awal sama. Pada mesin bubut, sesuai Tabel 4.4, untuk mendapatkan probabilitas mesin yang mengalami transisi dari kondisi baik ke kondisi baik, nilai 18.33 dibagi dengan 20.83. Demikian dengan kondisi mesin lainnya. Selengkapnya disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 4.7 Probabilitas transisi awal mesin bubut**

<b>Akhir</b> <b>Awal</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	0.880	0.064	0.032	0.024
<b>2</b>	0	0.664	0.336	0
<b>3</b>	0	0	0.336	0.664
<b>4</b>	0	0	0	1

**Tabel 4.8 Probabilitas transisi awal mesin frais**

<b>Akhir</b> <b>Awal</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	0.792	0.104	0.104	0
<b>2</b>	0	0.5	0.5	0
<b>3</b>	0	0	0.5	0.5
<b>4</b>	0	0	0	1

**Tabel 4.9 Probabilitas transisi awal mesin asah**

<b>Akhir</b> <b>Awal</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	0.849	0.120	0.019	0.012
<b>2</b>	0	0.398	0.602	0
<b>3</b>	0	0	0.336	0.664
<b>4</b>	0	0	0	1



#### 4. Membentuk matriks transisi awal

Berdasarkan Tabel 4.7 sampai dengan Tabel 4.9, didapatkan matriks probabilitas transisi mesin bubut ( $b$ ), mesin frais ( $f$ ) dan mesin asah ( $a$ ) berturut-turut sebagai berikut.

$$P_b = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 0 & 0.664 & 0.336 & 0 \\ 0 & 0 & 0.336 & 0.664 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P_f = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P_a = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 0 & 0.398 & 0.602 & 0 \\ 0 & 0 & 0.336 & 0.664 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Keterangan :

$P_b$  = Matriks probabilitas transisi awal mesin bubut

$P_f$  = Matriks probabilitas transisi awal mesin frais

$P_a$  = Matriks probabilitas transisi awal mesin asah.

Matriks probabilitas transisi awal mesin bubut, frais dan asah tersebut adalah model kerusakan mesin dan akan ditentukan solusi model sebagai keputusan kebijakan. Matriks tersebut dimodifikasi sesuai kebijakan yaitu pencegahan ( $c$ ) dan perbaikan ( $b$ ). Perubahan nilai probabilitas merujuk pada Tabel 2.2, yaitu jika dilakukan pencegahan, sistem akan kembali ke kondisi sebelumnya. Sedangkan jika dilakukan perbaikan, sistem akan kembali ke kondisi awal. Sehingga matriks transisi masing-masing mesin yang diperoleh adalah sebagai berikut.

$$P_b^c = \begin{bmatrix} 0.88 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_b^b = \begin{bmatrix} 0.88 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_f^c = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_f^b = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_a^c = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_a^b = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Keterangan :

$P_b^c$  = Matriks pencegahan mesin bubut

$P_b^b$  = Matriks perbaikan mesin bubut

$P_f^c$  = Matriks pencegahan mesin frais

$P_f^b$  = Matriks perbaikan mesin frais

$P_a^c$  = Matriks pencegahan mesin asah

$P_a^b$  = Matriks perbaikan mesin asah

Diperlukan beberapa biaya untuk melakukan setiap kebijakan. Biaya yang dibutuhkan adalah biaya *down time*, biaya operator dan biaya kebijakan (Lampiran 2). Matriks pengeluaran ( $C$ ) yang diperoleh pada kebijakan pencegahan dan perbaikan setiap mesin, adalah sebagai berikut.

$$C_b^c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.079.852 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.824.704 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 14.330.856 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_b^b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 17.648.356 & 0 & 0 & 0 \\ 27.811.660 & 0 & 0 & 0 \\ 49.578.620 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_f^c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 54.583.652 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6.710.278 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10.787.230 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_f^b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.911.052 & 0 & 0 & 0 \\ 14.325.556 & 0 & 0 & 0 \\ 27.341.612 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_a^c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.847.426 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.082.704 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 13.310.056 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_a^b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12.277.130 & 0 & 0 & 0 \\ 18.685.908 & 0 & 0 & 0 \\ 31.748.664 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

keterangan :

$C_b^c$  = Matriks biaya pencegahan mesin bubut

$C_b^b$  = Matriks biaya perbaikan mesin bubut

$C_f^c$  = Matriks biaya pencegahan mesin frais

$C_f^b$  = Matriks biaya perbaikan mesin frais

$C_a^c$  = Matriks biaya pencegahan mesin asah

$C_a^b$  = Matriks biaya perbaikan mesin asah

Matriks-matriks yang telah diperoleh tersebut, merupakan model yang akan ditentukan solusinya sebagai keputusan dari kebijakan yang dapat dilakukan perusahaan untuk meminimumkan biaya.

## 4.2 Solusi Model Kerusakan Mesin

### 4.2.1 Metode enumerasi lengkap

Sesuai algoritma enumerasi lengkap, tahap pertama yaitu mendaftar semua alternatif kebijakan yang dapat dilakukan. Pada kondisi 1, tidak dilakukan tindakan apapun karena kondisi mesin baik. Pada kondisi 2 dan kondisi 3 dapat dilakukan pencegahan atau perbaikan. Kondisi 4 hanya dilakukan perbaikan karena jika dilakukan pencegahan, mesin akan berpeluang kembali ke kondisi 4 lagi. Berikut semua alternatif kebijakan yang dapat dilakukan dalam perawatan mesin.

**Tabel 4.10. Alternatif kebijakan**

Kebijakan (S)	Aksi
1	Perbaikan pada kondisi 2, 3 dan 4
2	Pencegahan pada kondisi 2, perbaikan pada kondisi 4
3	Pencegahan pada kondisi 3, perbaikan pada kondisi 4
4	Pencegahan pada kondisi 2, perbaikan pada kondisi 3 dan 4
5	Pencegahan pada kondisi 2 dan 3, perbaikan pada kondisi 4
6	Perbaikan pada kondisi 3 dan 4

Berdasarkan semua alternatif kebijakan pada Tabel 4.10, matriks transisi masing-masing mesin diubah menurut Tabel 2.2. Biaya pengeluaran juga mengikuti alternatif kebijakan tersebut. Matriks transisi ( $P$ ) dan pengeluaran ( $C$ ) tersebut adalah sebagai berikut.

## 1. Mesin bubut

### Langkah 1

Membentuk matriks probabilitas transisi awal sesuai kebijakan pada tabel 4.10. Matriks probabilitas transisi awal ( $P$ ) mesin bubut setiap kebijakan ( $s$ ) tersebut dilambangkan  $P_b^s$  sebagai berikut.

$$P_b^1 = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_b^2 = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.336 & 0.664 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_b^3 = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 0 & 0.664 & 0.336 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_b^4 = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_b^5 = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_b^6 = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 0 & 0.664 & 0.336 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks transisi awal pengeluaran ( $C$ ) mesin bubut sesuai kebijakan ( $s$ ) pada Tabel 4.10 dinotasikan dengan  $C_b^s$  adalah sebagai berikut.



$$C_b^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 17.648.356 & 0 & 0 & 0 \\ 27.811.660 & 0 & 0 & 0 \\ 49.578.620 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_b^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.079.852 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 49.578.620 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_b^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.824.704 & 0 & 0 \\ 49.578.620 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_b^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.079.852 & 0 & 0 & 0 \\ 27.811.660 & 0 & 0 & 0 \\ 49.578.620 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_b^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.079.852 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.824.704 & 0 & 0 \\ 49.578.620 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_b^6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 27.811.660 & 0 & 0 & 0 \\ 49.578.620 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

## Langkah 2

Dari semua kebijakan tersebut, dihitung ekspektasi biaya satu langkah dari kebijakan  $s$  pada kondisi  $i$ ,  $i = 1,2,3,4$ , dengan menggunakan persamaan (2.9). Berikut adalah hasil perhitungan ekspektasi biaya satu langkah masing-masing mesin.

**Tabel 4.11. Ekspektasi biaya satu langkah mesin bubut**

$s$	$r$	$C_{sr}$	$P_{sr}$	$E_{sr}$
1	0	17.648.356	27.811.660	49.578.620
2	0	5.079.852	0	49.578.620
3	0	0	9.824.704	49.578.620
4	0	5.079.852	27.811.660	49.578.620
5	0	5.079.852	9.824.704	49.578.620
6	0	0	27.811.660	49.578.620

### Langkah 3

Langkah selanjutnya adalah menghitung *steady state* dari matriks probabilitas transisi menggunakan persamaan (2.6). Sehingga didapat perhitungan *steady state* pada mesin bubut dengan

$$\begin{bmatrix}
 0,88 & 0,064 & 0,032 & 0,024 \\
 1 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \pi_1 \\
 \pi_2 \\
 \pi_3 \\
 \pi_4
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 1
 \end{bmatrix}$$

dengan

$$\begin{bmatrix}
 4\pi_1 - 1 & 2\pi_2 - 3\pi_3 & 1\pi_4 - 3\pi_4 \\
 -0,12\pi_1 + 1 - 2\pi_3 & 3\pi_4 & 0 \\
 0,064\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,032\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \pi_1 \\
 \pi_2 \\
 \pi_3 \\
 \pi_4
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 1 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

Sehingga didapat

$$\begin{bmatrix}
 4\pi_1 - 1 & 2\pi_2 - 3\pi_3 & 1\pi_4 - 3\pi_4 \\
 -0,12\pi_1 + 1 - 2\pi_3 & 3\pi_4 & 0 \\
 0,064\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,032\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0 \\
 0,024\pi_1 - \pi_2 & \pi_3 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \pi_1 \\
 \pi_2 \\
 \pi_3 \\
 \pi_4
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 1 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

(4.1)

Sistem persamaan (4.1) tersebut merupakan sistem persamaan linier dengan 5 persamaan dan 4 variabel. Matriks yang dapat dibentuk dari sistem persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} -0.12 & 1 & 1 & 1 \\ 0.064 & -1 & 0 & 0 \\ 0.032 & 0 & -1 & 0 \\ 0.024 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \\ \pi_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Misalkan sistem persamaan (4.1) dinotasikan dengan  $A\vec{\pi} = B$ . Bentuk matriks *augmented*  $[A|B]$  dari sistem persamaan tersebut adalah:

$$\begin{bmatrix} -0.12 & 1 & 1 & 1 & | & 0 \\ 0.064 & -1 & 0 & 0 & | & 0 \\ 0.032 & 0 & -1 & 0 & | & 0 \\ 0.024 & 0 & 0 & -1 & | & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & | & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks tersebut akan direduksi menggunakan operasi baris elementer. Proses operasi baris elementer dapat dilihat pada Lampiran 3, dan didapat

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & | & 0.8929 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & | & 0.0571 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & | & 0.0286 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & | & 0.0214 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 \end{bmatrix}$$

Pada matriks yang tereduksi di atas, terlihat bahwa matriks  $A$  memiliki jumlah baris bebas linier yang sama dengan matriks  $[A|B]$ , yaitu empat. Atau dengan kata lain,

$$Rank(A) = Rank(A|B) = n = 4,$$

dimana  $n$  adalah banyak variabel pada sistem persamaan. Sistem persamaan ini dijamin memiliki solusi tunggal sesuai dengan Teorema 2.4.3 dan Teorema 2.4.4. Jadi solusinya adalah

$$\pi_1 = 0.8929, \quad \pi_2 = 0.0571, \quad \pi_3 = 0.0286, \quad \pi_4 = 0.0214$$

Solusi sistem persamaan  $A\vec{\pi} = B$  tersebut adalah nilai *steady state* dari kebijakan pertama pada mesin bubut.

Langkah berikutnya adalah menghitung ekspektasi biaya kebijakan. Dengan menggunakan persamaan (2.10), sehingga didapat ekspektasi biaya kebijakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 E_b^1 &= \sum_{i=1}^4 \pi_i^1 v_i^1 \\
 &= 0.8929 \times 0 + 0.0571 \times 17.648.356 + 0.0286 \\
 &\quad \times 27.811.660 + 0.0214 \times 49.578.620 \\
 &= 2.864.117,072
 \end{aligned}$$

dimana  $E_b^1$  adalah ekspektasi biaya mesin bubut pada kebijakan pertama.

Perhitungan *steady state* dan ekspektasi biaya kebijakan ( $s$ ) lainnya, identik dengan perhitungan pada kebijakan pertama. Perhitungan *steady state* tersebut memerlukan reduksi matriks, sehingga pada Lampiran 3 diberikan program menggunakan MATLAB untuk menghitung solusi pada tiap kebijakan. Setelah matriks direduksi, selanjutnya dihitung vektor probabilitasnya seperti pada sebelumnya. Hasil dari perhitungan pada semua kebijakan  $s$  mesin bubut, diberikan pada Tabel 4.12. Pada tabel tersebut, menunjukkan bahwa setiap kebijakan ( $s$ ), mesin bubut memiliki nilai *steady state* sesuai kondisi. Kolom terakhir menunjukkan ekspektasi biaya.

**Tabel 4.12. *Steady state* dan ekspektasi biaya mesin bubut**

1	0.8929	0.0571	0.0286	0.0214	2.864.117,072
2	0.8510	0.0477	0.0468	0.0545	2.944.343,73
3	0	0.75	0.25	0	2.456.176
4	0.8929	0.0571	0.0286	0.0214	2.137.240,724
5	0.8721	0.0872	0.0233	0.0174	<b>1.534.546,686</b>
6	0.762	0.147	0.073	0.018	2.922.666,34

#### Langkah 4

Langkah terakhir dari metode ini adalah menentukan ekspektasi biaya terkecil dari beberapa alternatif untuk dijadikan keputusan perusahaan. Pada Tabel 4.12, terlihat bahwa ekspektasi biaya terkecil terdapat pada kebijakan kelima yaitu sebesar Rp 1.534.546,686 Sehingga untuk meminimalkan biaya, perusahaan

harus melakukan pencegahan pada kondisi 2 dan 3 serta melakukan perbaikan pada kondisi 4.

## 2. Mesin Frais

### Langkah 1

Matriks probabilitas transisi awal ( $P$ ) mesin frais setiap kebijakan ( $s$ ) berdasarkan Tabel 4.10 dilambangkan dengan  $P_f^s$  dan disajikan sebagai berikut.

$$P_f^1 = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_f^2 = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_f^3 = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_f^4 = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_f^5 = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_f^6 = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



Matriks transisi awal pengeluaran ( $C$ ) mesin frais sesuai kebijakan ( $s$ ) pada Tabel 4.6 dilambangkan  $C_f^{1s}$  sebagai berikut.

$$C_f^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 5.911.052 & 0 & 0 & 0 \\ 14.325.556 & 0 & 0 & 0 \\ 27.341.612 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_f^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4.583.652 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 27.341.612 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_f^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6.710.278 & 0 & 0 \\ 27.341.612 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_f^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4.583.652 & 0 & 0 & 0 \\ 14.325.556 & 0 & 0 & 0 \\ 27.341.612 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_f^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4.583.652 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6.710.278 & 0 & 0 \\ 27.341.612 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_f^6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 14.325.556 & 0 & 0 & 0 \\ 27.341.612 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

## Langkah 2

Dari semua kebijakan tersebut, dihitung ekspektasi biaya satu langkah dari kebijakan  $s$  pada kondisi  $i$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , dengan menggunakan persamaan (2.9). Berikut adalah hasil perhitungan ekspektasi biaya satu langkah masing-masing mesin.

**Tabel 4.13 Ekspektasi biaya satu langkah mesin frais**

$i$	$z_i$	$z_{i+1}$	$z_{i+2}$	$z_{i+3}$
1	0	5.911.052	14.325.556	27.341.612
2	0	4.583.652	0	27.341.612
3	0	0	6.710.278	27.341.612
4	0	4.583.652	14.325.556	27.341.612
5	0	4.583.652	6.710.278	27.341.612
6	0	0	14.325.556	27.341.612

### Langkah 3

Langkah selanjutnya adalah menghitung *steady state* masing-masing kebijakan dan ditentukan ekspektasi biayanya. Perhitungan identik dengan perhitungan mesin bubut dan dihitung dengan program MATLAB pada Lampiran 3. Hasil perhitungan adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.14 *Steady state* dan ekspektasi biaya mesin frais**

$i$	$z_i$	$z_{i+1}$	$z_{i+2}$	$z_{i+3}$	$z_{i+4}$
1	0.8278	0.0861	0.0861	0	1.742.371,949
2	0.715	0.071	0.143	0.071	2.266.693,744
3	0	0.667	0.333	0	2.234.522,574
4	0.8278	0.0861	0.0861	0	1.628.082,809
5	0.7622	0.1585	0.0793	0	<b>1.258.633,887</b>
6	0.714	0.143	0.143	0	2.048.554,508

### Langkah 4

Ekspektasi biaya terkecil mesin frais pada Tabel 4.14, terletak pada kebijakan lima yaitu sebesar Rp. 1.258.633,887. Perusahaan dapat meminimumkan biaya pengeluaran dengan melakukan pencegahan pada kondisi 2 dan 3 dan perbaikan pada kondisi 4.

### 3. Mesin asah

#### Langkah 1

Matriks probabilitas transisi awal ( $P$ ) mesin asah dari masing-masing kebijakan ( $s$ ) dinotasikan  $P_a^s$  adalah sebagai berikut.

$$P_a^1 = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_a^2 = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.336 & 0.664 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_a^3 = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 0 & 0.398 & 0.602 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_a^4 = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_a^5 = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_a^6 = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 0 & 0.398 & 0.602 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriks transisi pengeluaran ( $C$ ) mesin asah pada setiap kebijakan ( $s$ ) dilambangkan dengan  $C_a^s$  adalah sebagai berikut.

$$C_a^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12.277.130 & 0 & 0 & 0 \\ 18.685.908 & 0 & 0 & 0 \\ 31.748.664 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_a^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.847.426 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 31.748.664 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_a^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.082.704 & 0 & 0 \\ 31.748.664 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_a^4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.847.426 & 0 & 0 & 0 \\ 18.685.908 & 0 & 0 & 0 \\ 31.748.664 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_a^5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.847.426 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 9.082.704 & 0 & 0 \\ 31.748.664 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$C_a^6 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 18.685.908 & 0 & 0 & 0 \\ 31.748.664 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

## Langkah 2

Seperti pada perhitungan pada mesin lainnya, langkah selanjutnya adalah menghitung ekspektasi biaya satu langkah pada setiap kebijakan. Ekspektasi biaya satu langkah tersebut disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 4.15 Ekspektasi biaya satu langkah mesin asah**

Kondisi	Biaya	Biaya	Biaya	Biaya
1	0	12.277.130	18.685.908	31.748.664
2	0	2.847.426	0	31.748.664
3	0	0	9.082.704	31.748.664
4	0	2.847.426	18.685.908	31.748.664
5	0	2.847.426	9.082.704	31.748.664
6	0	0	18.685.908	31.748.664

### Langkah 3

Langkah berikutnya adalah menentukan *steady state* setiap kebijakan dan menghitung ekspektasi biaya mesin. Perhitungan identik dengan perhitungan mesin lainnya, yaitu dengan menggunakan program MATLAB yang ada pada Lampiran 3. Hasil perhitungan disajikan dalam tabel berikut.

**Tabel 4.16 *Steady state* dan ekspektasi biaya mesin asah**

Kondisi	Biaya	Biaya	Biaya	Biaya	Biaya
1	0.870	0.104	0.016	0.010	1.893.282,688
2	0.8477	0.1018	0.0243	0.0262	1.084.154,052
3	0	0.625	0.375	0	3.406.014
4	0.8547	0.1189	0.016	0.010	912.593,472
5	0.8547	0.1189	0.0162	0.0102	<b>809.535,129</b>
6	0.742	0.147	0.102	0.009	2.191.700

### Langkah 4

Pada Tabel 4.16, ekspektasi biaya terkecil terdapat pada kebijakan 5 yaitu sebesar Rp. 809.535,129. Untuk meminimalkan biaya, perusahaan harus melakukan pencegahan pada kondisi 2 dan 3 serta melakukan perbaikan pada kondisi 4.



#### 4.2.1 Metode iterasi kebijakan

Langkah pertama adalah memformulasikan masalah *maintenance* dalam sebuah rantai markov yang disesuaikan dengan jenis keputusan yang ingin diambil. Misalkan pihak perusahaan ingin memutuskan jenis tindakan yang tepat untuk melakukan *maintenance* ketika kondisi awal mesin kerusakan ringan. Alternatif pada kondisi 1 tidak ada karena tidak dilakukan tindakan apapun pada kondisi ini. Oleh karena itu biaya perawatannya adalah nol. Pada kondisi 2 dan 3, alternatif kebijakan adalah pencegahan dan perbaikan. Sedangkan untuk kondisi 4, hanya memiliki alternatif perbaikan.

Pada Tabel 4.17 berikut menjelaskan bahwa pada mesin bubut, tidak ada biaya jika tidak dilakukan tindakan pada kondisi 1, 2, dan 3. Pada kondisi 2 biaya pencegahan Rp. 5.079.852,00 dan biaya perbaikan sebesar Rp. 17.548.356,00. Pada kondisi 3 biaya pencegahan Rp. 9.842.704,00 dan biaya perbaikan Rp. 27.811.660,00. Sedangkan pada kondisi 4, biaya perbaikan sebesar Rp 49.578.620,00.

Tabel 4.18 menyajikan biaya perawatan mesin frais. Biaya pencegahan pada kondisi 2 sebesar Rp. 4.583.652 dan biaya perbaikannya Rp. 5.911.052,00. Pada kondisi 3, biaya pencegahan sebesar Rp. 6.710.278,00 dan Rp. 14.325.556,00 untuk perbaikannya. Biaya perbaikan pada kondisi 4 sebesar Rp. 27.341.612,00. Sedangkan tidak ada biaya pada jika tidak dilakukan tindakan pada kondisi 1, 2, dan 3.

Biaya perawatan untuk mesin asah disajikan oleh Tabel 4.19. Seperti pada mesin yang lain, tidak ada biaya tidak dilakukan tindakan baik pada kondisi 1, 2 maupun 3. Biaya pencegahan pada kondisi 2 sebesar Rp. 2.847.426,00 dan biaya perbaikan Rp. 12.277.130,00. Pada kondisi 3 biaya pencegahan Rp. 9.082.704,00 dan Rp. 27.811.660 untuk perbaikannya. Biaya perbaikan untuk kondisi 4 sebesar Rp. 49.578.620,00. Selengkapnya, ditampilkan pada tabel berikut.

**Tabel 4.17. Alternatif kebijakan *maintenance* mesin bubut**

i	Alternatif K	Probabilitas				Cost				Indeks biaya $q_i^k = \sum_{j=1}^4 P_j^k C_j^k$
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Tidak ada tindakan	0.880	0.064	0.032	0.024	0	0	0	0	0
2	Tidak ada tindakan	0	0.664	0.336	0	0	0	0	0	0
	Pencegahan	1	0	0	0	5.079.852	0	0	0	5.079.852
	Perbaikan	1	0	0	0	17.648.356	0	0	0	17.648.356
3	Tidak ada tindakan	0	0	0.336	0.664	0	0	0	0	0
	Pencegahan	0	1	0	0	0	9.824.704	0	0	9.824.704
	Perbaikan	1	0	0	0	27.811.660	0	0	0	27.811.660
4	Perbaikan	1	0	0	0	49.578.620	0	0	0	49.578.620

Sumber : data sekunder

**Tabel 4.18. Alternatif kebijakan *maintenance* mesin frais**

I	Alternatif K	Probabilitas				Cost				$I_k = \sum_{j=1}^n P_j^k C_j^k$
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Tidak ada tindakan	0.792	0.104	0.104	0	0	0	0	0	0
2	Tidak ada tindakan	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0
	Pencegahan	1	0	0	0	4.583.652	0	0	0	4.583.652
	Perbaikan	1	0	0	0	5.911.052	0	0	0	5.911.052
3	Tidak ada tindakan	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0
	Pencegahan	0	1	0	0	0	6.710.278	0	0	6.710.278
	Perbaikan	1	0	0	0	14.325.556	0	0	0	14.325.556
4	Perbaikan	1	0	0	0	27.341.612	0	0	0	27.341.612

Sumber : data sekunder

**Tabel 4.19 Alternatif kebijakan *maintenance* mesin asah**

I	Alternatif K	Probabilitas				Cost				Inspeksi biaya $qt^k = \sum_{j=1}^4 P_j^k C_j^k$
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Tidak ada tindakan	0.849	0.120	0.019	0.012	0	0	0	0	0
	Tidak ada tindakan	0	0.398	0.602	0	0	0	0	0	0
2	Pencegahan	1	0	0	0	2.847.426	0	0	0	2.847.426
	Perbaikan	1	0	0	0	12.277.130	0	0	0	12.277.130
3	Tidak ada tindakan	0	0	0.336	0.664	0	0	0	0	0
	Pencegahan	0	1	0	0	0	9.082.704	0	0	9.082.704
	Perbaikan	1	0	0	0	18.685.908	0	0	0	27.811.660
4	Perbaikan	1	0	0	0	31.748.664	0	0	0	49.578.620

Sumber : data sekunder

Dari Tabel 4.17 sampai dengan 4.19, diketahui peluang masing-masing kebijakan serta biaya pengeluarannya. Misalkan pada mesin bubut, mesin yang memiliki kondisi awal 2, berpeluang kembali ke kondisi 1 sebesar 1, baik untuk tindakan pencegahan ataupun perbaikan. Namun yang membedakannya adalah biaya pengeluarannya.

Pada metode iterasi kebijakan ini, proses pengambilan keputusan dilakukan langkah-langkah seperti pada teori.

### 1. Mesin bubut

#### Langkah 1

Diambil satu alternatif tiap kondisi secara acak. Misal diambil kebijakan perbaikan pada kondisi 2, 3 dan 4, diperoleh

$$d = \begin{bmatrix} \text{Tidak ada tindakan} \\ \text{Perbaikan} \\ \text{Perbaikan} \\ \text{Perbaikan} \end{bmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.880 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 17.648.356 \\ 27.811.660 \\ 49.578.620 \end{bmatrix}.$$

$P$  merupakan matriks probabilitas transisi awal milik kebijakan  $d$ , dan  $q$  merupakan biaya perawatan sesuai kebijakan.

#### Langkah 2

Dengan rumus (2.11), akan dihitung  $v_1, v_2, v_3, v_4$ , dan  $g$ . Didapatkan sistem persamaan sebagai berikut.



$$\begin{aligned}
 g + v_1 &= 0 + 0.88v_1 + 0.064v_2 + 0.032v_3 + 0.024v_4 \\
 g + v_2 &= 17.648.356 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4 \\
 g + v_3 &= 27.811.660 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4 \\
 g + v_4 &= 49.578.620 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4.
 \end{aligned}$$

Dengan menganggap  $v_2 = 0$ , diperoleh:

$$v_1 = -14.782.415,9$$

$$v_2 = 0$$

$$v_3 = 10.163.308$$

$$v_4 = 31.930.264$$

$$g = 2.865.940,1.$$

### Langkah 3

Dengan menggunakan persamaan (2.12) akan dihitung kuantitas uji kebijakan untuk perbaikan selanjutnya. Berikut tabel perbaikan kebijakan pertama mesin bubut.

**Tabel 4.20 Perbaikan kebijakan pertama perawatan mesin bubut**

Kondisi	Alternatif	Kuantitas uji
1	Tidak dilakukan tindakan	<b>-14.782.913,9</b>
2	Tidak dilakukan tindakan	558.931,388
	Pencegahan	<b>-12.568.504</b>
	Perbaikan	0
3	Tidak dilakukan tindakan	21.750.626,68
	Pencegahan	<b>6.958.763,9</b>
	Perbaikan	10.163.304
4	Perbaikan	<b>31.930.264</b>

### Langkah 4

Dari tabel perbaikan kebijakan pertama, terlihat bahwa nilai kuantitas uji yang minimum kondisi 1 terdapat pada alternatif tidak dilakukan tindakan, kondisi 2 pada alternatif pencegahan, kondisi 3 pada alternatif pencegahan, dan kondisi 4 pada alternatif perbaikan. Kebijakan yang memiliki nilai kuantitas uji minimum tersebut dijadikan kebijakan baru.

## Langkah 5

Kebijakan baru yang didapat tidak sama dengan susunan kebijakan sebelumnya, sehingga iterasi dilanjutkan dengan mengambil kebijakan baru sebagai kebijakan awal.

$$d = \begin{bmatrix} \text{tidak ada tindakan} \\ \text{Pencegahan} \\ \text{Pencegahan} \\ \text{Perbaikan} \end{bmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.88 & 0.064 & 0.032 & 0.024 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.079.852 \\ 9.824.704 \\ 49.578.620 \end{bmatrix}.$$

Dengan menggunakan persamaan (2.11), akan dihitung  $v_1, v_2, v_3, v_4$ , dan  $g$ . Sehingga didapatkan sistem persamaan berikut.

$$g + v_1 = 0 + 0.88v_1 + 0.064v_2 + 0.032v_3 + 0.024v_4$$

$$g + v_2 = 5.079.852 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_3 = 9.824.704 + 0v_1 + 1v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_4 = 49.578.620 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

Dengan menganggap  $v_2 = 0$  sehingga diperoleh:

$$v_1 = -3.350.734,722$$

$$v_2 = 0$$

$$v_3 = 8.095.586,22$$

$$v_4 = 44.498.764$$

$$g = 1.729.117,104$$

Seperti pada iterasi pertama, dihitung uji kuantitas kebijakan untuk perbaikan dengan menggunakan persamaan (2.12). hasil perhitungan adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.21 Perbaikan kebijakan kedua perawatan mesin bubut**

Kondisi	Alternatif	Kuantitas uji
1	Tidak dilakukan tindakan	<b>-3.350.734,564</b>
2	Tidak dilakukan tindakan	2.318.676,006
	Pencegahan	<b>0.174</b>
	Perbaikan	12.568.504,17
3	Tidak dilakukan tindakan	24.568.058,01
	Pencegahan	<b>8.095.586,896</b>
	Perbaikan	9.251.004,174
4	Perbaikan	<b>44.498.768,17</b>

Dari tabel perbaikan kebijakan kedua, terlihat bahwa nilai kuantitas uji yang minimum pada setiap kondisi tetap, yaitu kondisi 1 terdapat pada alternatif tidak dilakukan tindakan, kondisi 2 pada alternatif pencegahan, kondisi 3 pada alternatif pencegahan, dan kondisi 4 pada alternatif perbaikan. Iterasi dihentikan karena kebijakan baru yang didapat sama dengan susunan kebijakan sebelumnya. Sehingga pihak perusahaan dapat memutuskan bahwa pada kondisi kerusakan ringan dan kondisi kerusakan sedang dilakukan pencegahan sedangkan pada kondisi kerusakan berat dilakukan perbaikan untuk meminimumkan biaya perawatan mesin bubut.

## 2. Mesin Frais

### Langkah 1

Pada metode iterasi kebijakan mesin frais ini, digunakan kebijakan awal adalah pencegahan pada kondisi 3 dan 4, perbaikan pada kondisi 2.

$$d = \begin{bmatrix} \textit{tidak ada tindakan} \\ \textit{Perbaikan} \\ \textit{Pencegahan} \\ \textit{Perbaikan} \end{bmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.104 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.911.052 \\ 6.710.278 \\ 27.341.612 \end{bmatrix}$$

## Langkah 2

Dengan menggunakan rumus (2.11), akan dihitung  $v_1, v_2, v_3, v_4$ , dan  $g$ . Sistem persamaannya adalah :

$$g + v_1 = 0 + 0.792v_1 + 0.104v_2 + 0.104v_3 + 0v_4$$

$$g + v_2 = 5.911.052 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_3 = 6.710.278 + 0v_1 + 1v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_4 = 27.341.612 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

Dengan menganggap  $v_1 = 0$ , diperoleh:

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 4.442.052$$

$$v_3 = 9.683.330$$

$$v_4 = 25.872.612$$

$$g = 1.469.000$$

## Langkah 3

Untuk menghitung kuantitas uji kebijakan, digunakan persamaan (2.12) dan didapatkan hasil seperti pada tabel berikut.

**Tabel 4.22 Perbaikan kebijakan pertama perawatan mesin frais**

Kondisi	Alternatif	Kuantitas uji
1	Tidak dilakukan tindakan	<b>39,728</b>
2	Tidak dilakukan tindakan	5.593.691
	Pencegahan	<b>3.114.652</b>
	Perbaikan	4.442.052
3	Tidak dilakukan tindakan	16.308.971
	Pencegahan	<b>9.683.330</b>
	Perbaikan	12.856.556
4	Perbaikan	<b>25.872.612</b>

#### Langkah 4

Dari Tabel 4.22, terlihat bahwa kuantitas uji minimum kondisi 2 dan 3 terletak pada kebijakan pencegahan, dan kondisi 4 terletak pada kebijakan perbaikan. Kebijakan yang memiliki nilai minimum tersebut dijadikan kebijakan baru.

#### Langkah 5

Kebijakan baru tidak sama dengan kebijakan awal yang diambil pada iterasi sebelumnya. Kebijakan baru tersebut dijadikan kebijakan awal untuk iterasi selanjutnya.

$$d = \begin{bmatrix} \text{tidak ada tindakan} \\ \text{Pencegahan} \\ \text{Pencegahan} \\ \text{Perbaikan} \end{bmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.792 & 0.104 & 0.105 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 4.583.652 \\ 6.710.278 \\ 27.341.612 \end{bmatrix}.$$



Dengan menggunakan rumus (2.11), akan dihitung  $v_1, v_2, v_3, v_4$ , dan  $g$ . Sistem persamaan yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} g + v_1 &= 0 + 0.792v_1 + 0.104v_2 + 0.104v_3 + 0v_4 \\ g + v_2 &= 4.583.652 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4 \\ g + v_3 &= 6.710.278 + 0v_1 + 1v_2 + 0v_3 + 0v_4 \\ g + v_4 &= 27.341.612 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4 \end{aligned}$$

Dengan menganggap  $v_1 = 0$ , diperoleh:

$$\begin{aligned} v_1 &= 0 \\ v_2 &= 3.325.063,183 \\ v_3 &= 8.776.752,366 \\ v_4 &= 26.083.023,18 \\ g &= 1.258.588,817 \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung kuantitas uji setiap kebijakan seperti pada iterasi pertama dengan menggunakan persamaan (2.12) dan menghasilkan seperti pada tabel berikut.

**Tabel 4.23 Perbaikan kebijakan kedua perawatan mesin frais**

Kondisi	Alternatif	Kuantitas uji
1	Tidak dilakukan tindakan	<b>0.000096</b>
2	Tidak dilakukan tindakan	4.792.318,958
	Pencegahan	<b>3.325.063,183</b>
3	Perbaikan	4.624.463,183
	Tidak dilakukan tindakan	16.712.298,96
	Pencegahan	<b>8.776.753,183</b>
4	Perbaikan	13.066.967,18
	Perbaikan	<b>26.083.023,18</b>

Pada Tabel 4.23, terlihat bahwa kuantitas uji minimum terdapat pada pencegahan di kondisi 2 dan 3, sedangkan kondisi 4 dilakukan perbaikan. Kebijakan kedua yang diperoleh tersebut sama dengan kebijakan pada iterasi sebelumnya, sehingga iterasi berhenti. Jadi, untuk meminimumkan biaya perawatan mesin frais, mesin pada kondisi 2 dan 3 dilakukan pencegahan dan mesin pada kondisi 4 dilakukan perbaikan.

### 3. Mesin Asah

#### Langkah 1

Seperti pada mesin lainnya, langkah awal metode ini adalah menentukan sembarang kebijakan awal untuk dilakukan iterasi. Pada mesin asah ini, dipilih kebijakan awal yaitu perbaikan pada kondisi 2 dan 4, tidak dilakukan tindakan apapun pada kondisi 3.

$$d = \begin{bmatrix} \text{tidak ada tindakan} \\ \text{Perbaikan} \\ \text{tidak ada tindakan} \\ \text{Perbaikan} \end{bmatrix}'$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.336 & 0.664 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}'$$

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 12.277.130 \\ 0 \\ 31.748.664 \end{bmatrix}.$$

#### Langkah 2

Dengan menggunakan persamaan (2.11), dibentuk persamaan seperti di bawah ini dan akan dihitung  $v_1, v_2, v_3, v_4$ , dan  $g$ .

$$g + v_1 = 0 + 0.849v_1 + 0.120v_2 + 0.019v_3 + 0.012v_4$$

$$g + v_2 = 12.277.130 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_3 = 0 + 0v_1 + 0v_2 + 0.336v_3 + 0.664v_4$$

$$g + v_4 = 31.748.664 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4.$$

Dengan menganggap  $v_1 = 0$ , diperoleh:

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 10.193.851,75$$

$$v_3 = 26.527.968,72$$

$$v_4 = 29.665.385,75$$

$$g = 2.083.278,245.$$

### Langkah 3

Hasil  $v_1, v_2, v_3, v_4$  digunakan untuk menghitung kuantitas uji kebijakan. Hasil perhitungan kuantitas uji kebijakan dengan menggunakan persamaan (2.12), disajikan pada tabel berikut.

**Tabel 4.24 Perbaikan kebijakan pertama perawatan mesin asah**

Kondisi	Alternatif	Kuantitas uji
1	Tidak dilakukan tindakan	<b>-0.09032</b>
2	Tidak dilakukan tindakan	17.943.711,92
	Pencegahan	<b>764.147,755</b>
	Perbaikan	10.193.851,76
3	Tidak dilakukan tindakan	26.527.935,38
	Pencegahan	17.193.276,76
	Perbaikan	<b>16.602.629,76</b>
4	Perbaikan	<b>29.665.385,76</b>

### Langkah 4

Pada Tabel 4.24, kuantitas minimum terletak pada kebijakan tidak dilakukan tindakan di kondisi 1, kebijakan pencegahan di kondisi 2 dan perbaikan di kondisi 3 dan 4. Kebijakan minimum tersebut dijadikan kebijakan baru dan dibandingkan dengan kebijakan sebelumnya.

### Langkah 5

Kebijakan baru tidak sesuai dengan kebijakan awal, sehingga akan dilakukan iterasi kedua dengan mengambil kebijakan baru sebagai kebijakan awal.

$$d = \begin{bmatrix} \textit{tidak ada tindakan} \\ \textit{Pencegahan} \\ \textit{Perbaikan} \\ \textit{Perbaikan} \end{bmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.847.426 \\ 18.685.908 \\ 31.748.664 \end{bmatrix}.$$

Seperti pada iterasi pertama, dibentuk persamaan dengan menggunakan persamaan (2.11), sehingga persamaannya adalah sebagai berikut.

$$g + v_1 = 0 + 0.849v_1 + 0.120v_2 + 0.019v_3 + 0.012v_4$$

$$g + v_2 = 2.847.426 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_3 = 18.685.908 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_4 = 31.748.664 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

Dengan menganggap  $v_1 = 0$ , diperoleh:

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 1.911.103,376$$

$$v_3 = 17.749.585,38$$

$$v_4 = 30.812.341,38$$

$$g = 936.322,6238$$

Selanjutnya dihitung kuantitas uji pada masing-masing kondisi sesuai kebijakan dengan menggunakan persamaan (2.12). Berikut tabel hasil perhitungan kuantitas uji tersebut.

**Tabel 4.25 Perbaikan kebijakan kedua perawatan mesin asah**

Kondisi	Alternatif	Kuantitas uji
1	Tidak dilakukan tindakan	<b>0.0001</b>
2	Tidak dilakukan tindakan	10.509.546,92
	Pencegahan	<b>1.911.103,376</b>
3	Perbaikan	11.340.807,38
	Tidak dilakukan tindakan	25.486.932,74
	Pencegahan	<b>10.057.484,75</b>
4	Perbaikan	17.749.585,38
	Perbaikan	<b>30.812.341,38</b>

Pada iterasi kedua ini, diperoleh kebijakan baru yang minimum yaitu pencegahan di kondisi 2 dan 3, serta perbaikan pada kondisi 4. Karena kebijakan ini tidak sama dengan kebijakan pada iterasi sebelumnya, dilakukan iterasi kembali. Kebijakan yang akan dilakukan iterasi, adalah hasil dari iterasi kedua tersebut.

$$d = \begin{bmatrix} \text{tidak ada tindakan} \\ \text{Pencegahan} \\ \text{Pencegahan} \\ \text{Perbaikan} \end{bmatrix},$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.849 & 0.120 & 0.019 & 0.012 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$q = \begin{bmatrix} 0 \\ 2.847.426 \\ 9.082.704 \\ 31.748.664 \end{bmatrix}.$$

Kemudian dibentuk persamaan dengan menggunakan persamaan (2.11), sehingga persamaannya adalah sebagai berikut.

$$g + v_1 = 0 + 0.849v_1 + 0.120v_2 + 0.019v_3 + 0.012v_4$$

$$g + v_2 = 2.847.426 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$



$$g + v_3 = 9.082.704 + 0v_1 + 1v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

$$g + v_4 = 31.748.664 + 1v_1 + 0v_2 + 0v_3 + 0v_4$$

Dengan mengamsumsikan  $v_1 = 0$ , diperoleh :

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 2.036.017,831$$

$$v_3 = 10.307.313,66$$

$$v_4 = 30.937.255,83$$

$$g = 811.408,1692.$$

Berikut adalah hasil perhitungan kuantitas uji menggunakan persamaan (2.12) seperti pada iterasi sebelumnya.

**Tabel 4.26 Perbaikan kebijakan ketiga perawatan mesin asah**

Kondisi	Alternatif	Kuantitas uji
I	Tidak dilakukan tindakan	<b>0.00002</b>
	Tidak dilakukan tindakan	6.203.929,751
II	Pencegahan	<b>2.036.017,831</b>
	Perbaikan	11.465.721,83
III	Tidak dilakukan tindakan	23.194.187,09
	Pencegahan	<b>10.307.313,66</b>
	Perbaikan	17.874.499,17
IV	Perbaikan	<b>30.937.255,83</b>

Tabel 4.26 menyajikan perhitungan kuantitas uji yang menghasilkan kebijakan baru yaitu pencegahan pada kondisi 2 dan 3, serta perbaikan pada kondisi 4. Kebijakan baru ini sama dengan kebijakan sebelumnya, sehingga iterasi berhenti. Kebijakan ini yang bisa dilakukan perusahaan agar meminimumkan biaya perawatan mesin frais.

### 4.3 Perbandingan Metode Enumerasi Lengkap dengan Metode Iterasi Kebijakan

Pada metode enumerasi lengkap, keputusan yang dihasilkan agar biaya perawatan minimum adalah kebijakan lima, yaitu kondisi 2 dan 3 dilakukan pencegahan (*preventive maintenance*), dan

dilakukan perbaikan (*corrective maintenance*) pada kondisi 4, baik pada mesin bubut, mesin frais, maupun mesin asah. Keputusan ini sama dengan yang dihasilkan pada metode iterasi kebijakan.

Meskipun kedua metode ini memiliki hasil yang sama, namun tidak semua metode efektif untuk digunakan. Kedua metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Perbandingan kedua metode tersebut adalah sebagai berikut.

1. Efisiensi waktu
  - a. Metode enumerasi lengkap kurang efisien karena harus mendaftar dan menghitung semua alternatif kebijakan.
  - b. Metode iterasi kebijakan relatif lebih efisien karena dengan mengambil sembarang kebijakan awal, akan didapat kebijakan akhir yang minimum.
2. Ketersediaan alternatif lain
  - a. Metode enumerasi lengkap dapat mengurutkan kebijakan dari yang terbaik sampai terburuk, sehingga jika kebijakan teratas tidak dapat dilakukan, ada alternatif kebijakan lain pada urutan kedua yang minimum.
  - b. Metode iterasi kebijakan hanya menghasilkan keputusan akhir sehingga tidak dapat menentukan kebijakan lain apabila kebijakan akhir tersebut tidak dimungkinkan untuk dilakukan.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Model kerusakan mesin berbentuk matriks probabilitas transisi awal ( $P$ ) yang berisi peluang transisi status kondisi mesin pada periode selanjutnya. Matriks diperoleh dengan mengolah data transisi kerusakan mesin di PT. Pindad (Persero) Turen-Malang.
2. Solusi dengan metode enumerasi lengkap dan metode iterasi kebijakan menghasilkan keputusan yang sama yaitu pencegahan (*preventive maintenance*) pada kondisi 2 dan 3 dan perbaikan (*corrective maintenance*) pada kondisi 4, baik pada mesin bubuk, mesin frais, maupun mesin asah. Kebijakan tersebut dapat dilakukan PT. Pindad (Persero) Turen-Malang untuk meminimalkan biaya.
3. Metode enumerasi lengkap lebih lengkap karena dapat mendaftar semua alternatif kebijakan dari yang terbaik dan terburuk. Namun dari segi efisiensi waktu, metode iterasi kebijakan lebih tepat digunakan karena dengan sembarang kebijakan awal, akan didapat kebijakan akhir sebagai keputusan perawatan mesin.

### 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, model pada skripsi ini dapat dikembangkan dengan memperhatikan ketersediaan *sparepart*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 2012. <http://www.pindad.com/showpro1.php?l=1&m=6&u=7&b=2>. Diakses tanggal 28 Januari 2012.
- Anton, H dan R. Chris. 1991. *Elementary Linear Algebra : Applications Version*. 6 Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. Hal 587-597
- Asri, M., T.H. Handoko, dan P. Subagyo. 1985. *Dasar-Dasar Operations Research*. BPFE. Yogyakarta. Hal 112-119.
- Assaury, S. 1993. *Manajemen Produksi dan Operasi*. LPFE UI. Jakarta. Hal 85-90.
- Bronson, R dan G. Naadimuthu. 1978. *Theory and Problems of Operation Research*. Second Edition. Mc Graw-Hill Book Company. Singapura. Hal 178-194.
- Dimiyati, A dan T.T. Dimiyati. 1999. *Operations Research. Model-model Pengambilan Keputusan*. PT Sinar Baru Algesindo. Bandung. Hal 72-88
- Harsono, Ek. 1990. *Manajemen Pabrik*. Balai Pustaka. Hal 139-143.
- Hiller, F.S, dan J.L. Gerald. 1990. *Introduction to Operations Research*. Fifth Edition. Mc Graw-Hill Publishing Company. New York. Hal 203-208.
- Hines, W.W, dan C.M. Douglas. 1990. *Probabilita dan Statistik dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen*. Edisi Kedua. UI. Jakarta. Hal 617-629.
- Naipospos dan S. Noenik. 1983. *Aljabar Linier*. Erlangga. Jakarta. Hal 144-181.
- Papoullis, A. 1992. *Probabilitas, Variabel Random, dan Proses Stokastik*. Edisi Kedua. Gadjah Mada Univesity Press. Yogyakarta. Hal 542-543.



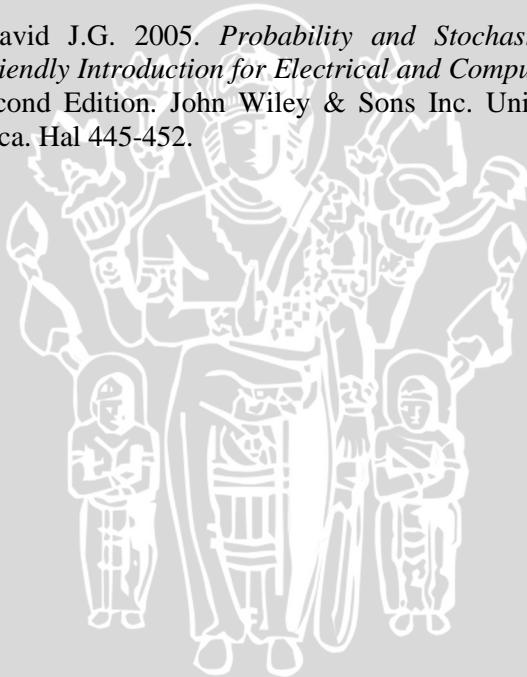
Rosadi, D. 2000. *Pengambilan Keputusan Markov dan Aplikasinya di Bidang Periklanan*. Jurnal Integral, Volume 5 no 2.

Supranto, J. 1991. *Teknik Pengambilan Keputusan*. Rineka Cipta. Jakarta. Hal 1-4.

Surakhmad, W. 1998. *Pengantar Penelitian Ilmia Dasar, Metode dan Teknik*. Parsito. Bandung. Hal 139-143.

Taha, H. A. 1992. *Operation Research An Introduction*. Fifth Edition. Macmillian Pubhling Company. New York. Hal 682-709.

Yates, R.D, and David J.G. 2005. *Probability and Stochastics Process : A Friendly Introduction for Electrical and Computer Engineers*. Second Edition. John Wiley & Sons Inc. United State of America. Hal 445-452.



## LAMPIRAN 1. Transisi Kondisi Mesin

### MESIN BUBUT

DAL		4	5	6	7	8	9
K5	1	1	1	1	1	1	1
K6	1	2	1	1	1	1	2
K7	3	4	1	1	1	1	1
K8	1	3	1	1	1	1	1
K9	1	2	1	1	1	1	1
K10	1	1	1	1	3	1	1
K11	1	1	1	1	1	1	3
K12	1	1	1	1	1	1	1
K13	1	1	1	1	1	1	1
K14	1	1	1	1	1	1	1
K15	1	1	1	1	1	1	1
K71	1	1	3	1	2	2	4
K72	1	1	4	1	1	1	1
K82	1	1	4	1	1	1	1
K87.1	1	2	3	1	1	1	1
K87.2	1	2	1	1	1	1	1
K87.3	1	1	2	1	1	1	1
K87.4	1	1	1	1	1	1	1
K87.5	1	1	1	1	1	1	1
K91	3	3	4	1	1	1	1
K83	1	1	1	1	1	1	1
K89	1	1	1	1	1	1	1

Sumber : PT. Pindad (Persero) Turen-Malang

**MESIN FRAIS**

DAL		4	5	6	7	8	9
K36	1	1	1	1	1	1	1
K37	1	1	1	1	1	1	3
K38	1	1	1	1	1	2	1
K86	1	3	4	4	4	1	3

Sumber : PT. Pindad (Persero) Turen-Malang



## MESIN ASAH

DAL	4	5	6	7	8	9
K1	1	1	1	1	1	1
K2	1	1	1	1	1	1
K3	1	1	1	1	1	1
K18	1	1	1	1	1	1
K22	1	1	1	1	1	1
K23	3	4	1	1	1	1
K24	1	2	1	1	1	1
K74	1	1	1	1	1	1
K27	1	1	1	1	1	1
K53	1	1	1	1	1	1
K73	1	1	1	1	1	1
K16	1	1	1	1	1	1
K17	1	2	1	1	1	1
K26	1	1	1	1	1	1
K77	1	1	1	1	1	1
K76	2	3	1	1	1	1
K75	1	1	1	1	1	1
K30	1	1	1	1	1	1
K20	1	1	1	1	1	1
K21	1	1	1	1	1	1
K68	1	1	1	1	1	1
K29	1	1	1	1	1	1
K19	1	1	1	1	1	1
K54	1	1	1	1	1	1
K74	1	1	1	1	1	1
K25	1	2	1	1	1	1
K32	1	2	1	1	1	1
K28	1	2	1	2	1	1

Sumber : PT. Pindad (Persero) Turen-Malang

Keterangan:

1 = Kondisi baik

2 = Kondisi kerusakan ringan

3 = Kondisi kerusakan sedang

4 = Kondisi kerusakan berat

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





## LAMPIRAN 2. Biaya Perawatan Mesin

$$\text{Biaya Operator} = \frac{3.000.000 \times 22}{24 \times 30} = \text{Rp. } 91.667$$

$$\text{Biaya downtime} = \text{Rp. } 3.935.185$$

### Mesin Bubut

Kondisi	kebijakan	Down time (jam)	Biaya down time (Rupiah per jam)	Biaya operator (Rupiah per jam)	Perawatan (Rupiah)	Total
1	Tidak ada tindakan	0	0	0	0	0
2	Pencegahan	1	3.935.185	91.667	1.053.000	5.079.852
	Perbaikan	3	3.935.185	91.667	5.567.800	17.648.356
3	Pencegahan	2	3.935.185	91.667	1.771.000	9.824.704
	Perbaikan	5	3.935.185	91.667	7.677.400	27.811.660
4	Pencegahan	3	3.935.185	91.667	2.250.300	14.330.856
	Perbaikan	10	3.935.185	91.667	9.310.100	49.578.620

Sumber : PT. Pindad (Persero) Turen-Malang

## Mesin Frais

<b>K o n d i s i</b>	<b>kebijakan</b>	<b>Down time (jam)</b>	<b>Biaya down time (Rupiah per jam)</b>	<b>Biaya operator (Rupiah per jam)</b>	<b>Perawatan (Rupiah)</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	Tidak ada tindakan	0	0	0	0	0
<b>2</b>	Pencegahan	1	3.935.185	91.667	556.800	4.583.652
	Perbaikan	1	3.935.185	91.667	1.884.200	5.911.052
<b>3</b>	Pencegahan	1.5	3.935.185	91.667	670.000	6.710.278
	Perbaikan	3	3.935.185	91.667	2.245.000	14.325.556
<b>4</b>	Pencegahan	2.5	3.935.185	91.667	720.100	10.787.230
	Perbaikan	6	3.935.185	91.667	3.180.500	27.341.612

Sumber : PT. Pindad (Persero) Turen-Malang

## Mesin Asah

<b>K o n d i s i</b>	<b>Kebijakan</b>	<b>Down time (jam)</b>	<b>Biaya down time (Rupiah per jam)</b>	<b>Biaya operator (Rupiah per jam)</b>	<b>Perawatan (Rupiah)</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	Tidak ada tindakan	0	0	0	0	0
<b>2</b>	Pencegahan	0.5	3.935.185	91.667	834.000	2.847.426
	Perbaikan	2.5	3.935.185	91.667	2.210.000	12.277.130
<b>3</b>	Pencegahan	2	3.935.185	91.667	1.029.000	9.082.704
	Perbaikan	4	3.935.185	91.667	2.578.500	18.685.908
<b>4</b>	Pencegahan	3	3.935.185	91.667	1.229.500	13.310.056
	Perbaikan	7	3.935.185	91.667	3.560.700	31.748.664

Sumber : PT. Pindad (Persero) Turen-Malang

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



### Lampiran 3. Operasi Baris Elementer Matriks $[A|B]$

$$\left[ \begin{array}{cccc|c} -0.12 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0.064 & -1 & 0 & 0 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0.032 & 0 & -1 & 0 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0.024 & 0 & 0 & -1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \end{array} \right] \begin{array}{l} B1 \times \frac{0.064}{0.12} + B2 \\ B1 \times \frac{0.032}{0.12} + B3 \\ B1 \times \frac{0.024}{0.12} + B4 \end{array}$$

$$\left[ \begin{array}{cccc|c} -0.12 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & -0.4667 & 0.5333 & 0.5333 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0.267 & -0.7333 & 0.267 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0.2 & 0.2 & -0.8 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \end{array} \right] \begin{array}{l} B2 \times \frac{0.267}{0.4667} + B3 \\ B2 \times \frac{0.2}{0.4667} + B4 \end{array}$$

$$\left[ \begin{array}{cccc|c} -0.12 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & -0.4667 & 0.5333 & 0.5333 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0.57 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0.4286 & -0.57 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \end{array} \right] \begin{array}{l} B3 \times (1) + B4 \end{array}$$

$$\left[ \begin{array}{cccc|c} -0.12 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & -0.4667 & 0.5333 & 0.5333 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0.57 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \end{array} \right] \begin{array}{l} B1 \leftrightarrow B5 \end{array}$$

$$\left[ \begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & -0.4667 & 0.5333 & 0.5333 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0.57 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ -0.12 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \end{array} \right] \begin{array}{l} B1(0.12) + B5 \end{array}$$

$$\left[ \begin{array}{cccc|c} 1 & 1 & 1 & 1 & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & -0.4667 & 0.5333 & 0.5333 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0.57 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \\ 0 & 1.2 & 1.2 & 1.2 & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.12 \end{matrix} \end{array} \right] \begin{array}{l} B5 \leftrightarrow B4 \end{array}$$



$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -0.4667 & 0.5333 & 0.5333 \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0.5714 \\ 0 & 1.2 & 1.2 & 1.2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} B2 \left( \frac{1}{-0.4667} \right) + B1 \\ B2 \left( \frac{1.2}{-0.4667} \right) + B4 \end{array}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 2.1427 & 2.1427 \\ 0 & -0.4667 & 0.5333 & 0.5333 \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0.5714 \\ 0 & 0 & 2.3998 & 2.3998 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} B3 \left( \frac{1}{-0.4286} \right) + B1 \\ B3 \left( \frac{0.5333}{-0.4667} \right) + B2 \\ B3 \left( \frac{2.3998}{-0.4667} \right) + B3 \end{array}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 4.9993 \\ 0 & -0.4667 & 0 & 1.1771 \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0.5714 \\ 0 & 0 & 0 & 5.5991 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} B4 \left( \frac{4.9993}{-5.5991} \right) + B1 \\ B4 \left( \frac{1.1771}{-5.5991} \right) + B2 \\ B4 \left( \frac{0.5714}{-5.5991} \right) + B3 \end{array}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.4667 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.4286 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5.5991 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} 0.8929 \\ 0.0252 \\ -0.0123 \\ 0.12 \\ 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} B2 \left( \frac{1}{-0.4667} \right) \\ B3 \left( \frac{1}{-0.4286} \right) \\ B4 \left( \frac{1}{5.5991} \right) \end{array}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} 0.8929 \\ 0.0252 \\ -0.0123 \\ 0.12 \\ 0 \end{array} \right. \begin{array}{l} 0.8929 \\ 0.0252 \\ -0.0123 \\ 0.12 \\ 0 \end{array}$$

## LAMPIRAN 4a. Listing Program Metode Enumerasi Lengkap

```
clear all;
clc;
fprintf('Metode Enumerasi Lengkap \n');
fprintf('-----\n');
n=input('ordo :');
fprintf('Matrik P : \n');
for (i=1:n)
    for (l=1:n)
        fprintf('P [ %d, %d] =',i,l);
        P(i,l)=input('');
    end;
end;

fprintf('Matrik C : \n');
for (i=1:n)
    for (l=1:n)
        fprintf('C [ %d, %d] =',i,l);
        C(i,l)=input('');
    end;
end;

for(i=1:n)
    d=0;
    for(j=1:n)
        d=d+P(i,j)*C(i,j);
    end;
    V(i)=d;
end;
fprintf('Biaya Ekspektasi Satu Langkah \n');
V
for(i=1:n)
    for(j=1:n)
        if(i==j)
            B(i,j)=P(i,j)-1;
        else
            B(i,j)=P(i,j);
        end;
    end;
end;
W=transpose(B);
c=1;
singular=0;
```

```

while(c<=n-1) & (singular~=1)
    pivot=W(c,c);
    r=c;
    for(zz=c+1:n)
        if(abs(W(zz,c))>abs(pivot))
            pivot=W(zz,c);
            r=zz;
        end;
    end;

    if(pivot==0)
        singular=1;
    else
        if(r>c)
            for(s=1:n)
                tampung=W(c,s);
                W(c,s)=W(r,s);
                W(r,s)=tampung;
            end;
        end;
        for(i=c+1:n)
            m=W(i,c)/W(c,c);
            for(j=c:n)
                W(i,j)=W(i,j)-m*W(c,j);
            end;
        end;
        end;
        c=c+1;
    end;
W
pi4=1;
pi3=(-W(3,4)/W(3,3))*pi4;
pi2=- (W(2,3)*pi3+W(2,4)*pi4)/W(2,2);
pi1=- (W(1,2)*pi2+W(1,3)*pi3+W(1,4)*pi4)/W(1,1);

s=1/(pi1+pi2+pi3+pi4);
phi1=s*pi1
phi2=s*pi2
phi3=s*pi3
phi4=s*pi4

biaya_ekpektasi_mesin=phi1*V(1)+phi2*V(2)+phi3*V(
3)+phi4*V(4)

```

## LAMPIRAN 4b. Listing Program Metode Iterasi Kebijakan

```
clear all;
clc;

fprintf('Metode Iterasi Kebijakan\n');
fprintf('-----\n');
n=input('ordo :');

fprintf('Matrik Transisi Awal : \n');
for (i=1:n)
    for (l=1:n)
        fprintf('TA [ %d, %d] =',i,l);
        TA(i,l)=input('');
    end;
end;

fprintf('Matrik Biaya Pencegahan : \n');
for (i=1:n)
    for (l=1:n)
        fprintf('CR [ %d, %d] =',i,l);
        CR(i,l)=input('');
    end;
end;

fprintf('Matrik Biaya Perbaikan : \n');
for (i=1:n)
    for (l=1:n)
        fprintf('CB [ %d, %d] =',i,l);
        CB(i,l)=input('');
    end;
end;

fprintf('Matrik P : \n');
for (i=1:n)
    for (l=1:n)
        fprintf('P [ %d, %d] =',i,l);
        P(i,l)=input('');
    end;
end;

fprintf('Matrik Q : \n');
for (i=1:n)
```

```

    fprintf('Q [ %d, %d] =',i,1);
    Q(i,1)=input(' ');
end;

fprintf('----- : \n');
fprintf('Misalkan V1=0 : \n');

for(i=1:n)
    for(j=1:n)
        if(j==1)
            A(i,j)=1;
        else
            if(j==i)
                A(i,j)=1-P(i,j);
            else
                A(i,j)=-1*P(i,j);
            end;
        end;
    end;
end;

s=1;
while(s<=n)
    for(i=1:n)
        for(j=1:n)
            if(j==s)
                D(i,j)=Q(i,1);
            else
                D(i,j)=A(i,j);
            end;
        end;
    end;
    D
    L(s)=det(D)/det(A);
    s=s+1;
end;
L
for(i=1:n)
    if(i==1)
        V(i)=0;
    else
        V(i)=L(i);
    end;
end;
end;

```



```

fprintf('State 1 (Tidak Dilakukan Tindakan
Apapun) : \n');
z=0;
for(i=1:n)
    z=z+TA(1,i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CR(1,1)

fprintf('State 2 (Tidak Dilakukan Tindakan
Apapun) : \n');
z=0;
for(i=1:n)
    z=z+TA(2,i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CR(1,1)

fprintf('State 2 (Pencegahan) : \n');
d=[1 0 0 0];
z=0;
for(i=1:n)
    z=z+d(i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CR(2,1)

fprintf('State 2 (Perbaikan) : \n');
d=[1 0 0 0];
z=0;
for(i=1:n)
    z=z+d(i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CB(2,1)

fprintf('State 3 (Tidak Dilakukan Tindakan
Apapun) : \n');
z=0;
for(i=1:n)
    z=z+TA(3,i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CR(1,1)

fprintf('State 3 (Pencegahan) : \n');
d=[0 1 0 0];
z=0;

```

```
for(i=1:n)
    z=z+d(i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CR(3,2)

fprintf('State 3 (Perbaikan) : \n');
d=[1 0 0 0];
z=0;
for(i=1:n)
    z=z+d(i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CB(3,1)

fprintf('State 4 (Perbaikan) : \n');
d=[1 0 0 0];
z=0;
for(i=1:n)
    z=z+d(i)*V(i);
end;
KuantitasUji=z+CB(4,1)
```



## LAMPIRAN 5. Surat Ijin Penelitian



**PT. PINDAD (PERSERO)**

**DIVISI MUNISI**



JKT6006782

Nomor : B/ 75 /MU/XI/2011  
Klasifikasi : Biasa  
Lampiran : - lembar  
Perihal : **Jawaban Permohonan Ijin Penelitian**

Turen, 30 Nopember 2011

K e p a d a

Yth. A.n. KETUA JUR. MATEMATIKA  
FAKULTAS MIPA  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
JL. MAYJEN HARYONO 169  
DI M A L A N G

1. Memperhatikan surat Saudara nomor : 710/UN10.9.4/PP/2011 tanggal : 22 Nopember 2011 Perihal Permohonan Ijin mengambil data penelitian mahasiswa Program Studi Matematika Nim : 0810940001.
2. Sehubungan dengan hal tersebut di atas, bersama ini diberitahukan bahwa PT. Pindad (Persero) Turen Malang dapat menerima mahasiswa Saudara untuk melaksanakan Penelitian Mulai tanggal : 07 Desember s/d 30 Desember 2011

Adapun persyaratan yang diperlukan sebagai berikut :

- a. Mengikuti tes kesetiaan memasuki instalasi PT. Pindad (Persero) pada :  
Tanggal : 01 Desember 2011.  
Pukul : 07.30 WIB (memakai almamater) dengan melampirkan :
  - 1) Proposal yang disetujui oleh Dosen Pembimbing (rangkap dua).  
( beserta 1 Lembar Foto copy)
  - 2) Surat Keterangan Catatan Kepolisian.  
( beserta 1 Lembar Foto copy)
  - 3) Pas Foto ukuran 3 x 4 = 3 lembar.
  - 4) Pas Foto ukuran 4 x 6 = 3 lembar.
- b. Hasil laporan penelitian / praktek harus diketahui oleh pihak PT. Pindad (Persero).

Sebelum melaksanakan tes kesetiaan mohon koordinasi terlebih dahulu dengan staf Subdep Minu & Humas (telepon 0341-824462 pesawat 297).

3. Demikian untuk menjadikan periksa, atas perhatian Saudara diucapkan terima kasih.



Head Office : J. Jend. Gatot Subroto No. 517 Bandung 40284 - Indonesia \* Phone (02-22) 7312073 (Hunting) : 7305092, 7306655 \* Facsimile : (02-22) 7301222, 7304095 \* E-mail : info@pindad.com  
Sales Office : J. Batu Ceper No. 23 Jakarta Pusat \* Phone : (02-21) 3806629 \* Facsimile : (02-21) 3814209  
Divisi Munisi : J. Jend. Sudirman Turen 65175 Malang - Indonesia \* Phone : (02-341) 824482 (Hunting) \* Facsimile : (02-341) 824200 \* E-mail : divisi@pindad.com



PT. PINDAD (PERSERO)



### SURAT PERNYATAAN TELAH MENDAPATKAN SAFETY INDUCTION

Dengan ini :

Nama lengkap : Ahmad Dedy Anul Wafi  
Instansi : Univ. Brawijaya  
Alamat : Jl. Jembermansi Malang

Perorangan / ~~kelompok~~ (mewakili orang)  
telah mendapatkan dan memahami **Safety Induction** / petunjuk keselamatan di PT. Pindad (Persero)  
area Turen.

Demikian pernyataan ini kami buat

Pemandu **Safety Induction**

  
PT. PINDAD (PERSERO)  
JAEA  
(.....)

\*) Coret salah satu

Turen, 1 des 2011

Penerima **Safety Induction**

  
(.....)

