



**PENENTUAN PERENCANAAN KEBIJAKAN PERAWATAN
MESIN PRINTING DENGAN METODE MARKOVIAN
LINEAR PROGRAMMING
(Studi Kasus pada Departemen Maintenance PT XYZ)**

**Oleh
Sari Yosevin Hasibuan
NIM: 004201405128**

**Laporan Skripsi disampaikan kepada Fakultas Teknik President University
diajukan untuk memenuhi Persyaratan akademik mencapai gelar Sarjana
Teknik Program Studi Teknik Industri**

2017

ABSTRAK

Kegiatan perawatan yang akan dilakukan akan tepat apabila sesuai dengan kebijakan yang tepat juga, sehingga untuk menentukan kebijakan keputusan perawatan yang tepat, maka dapat dilakukan observasi awal dan pengumpulan data hasil produksi pada mesin terkait. Penentuan kebijakan keputusan perawatan ini dilakukan pada mesin *printing* yang ada di PT XYZ. Perawatan yang dilakukan saat penelitian dilakukan adalah perawatan rutin seperti pergantian oli, setting mesin, dan uji coba mesin cetak (tidak ada perlakuan khusus) sehingga jika sewaktu-waktu mesin mengalami kerusakan tiba-tiba, akan mengakibatkan *lost time* produksi. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka penelitian ini mengusulkan sistem perawatan mesin dengan menggunakan keputusan kebijakan perawatan mesin dengan metode Markovian linear programming. Metode tersebut terbukti dapat mengoptimalkan tujuan produksi yang ingin dicapai dengan keputusan-keputusan yang akan dihasilkan. Metode ini diharapkan dapat menetapkan keputusan kebijakan perawatan mesin yang tepat. Data penelitian yang diperlukan adalah data actual *in quantity* dan *out quantity* yang dikumpulkan selama 24 periode atau selama 6 (enam) bulan dan data harga perawatan sesuai state pada 4 (empat) mesin *printing* yang ada di perusahaan tersebut. Berdasarkan data tersebut dapat dihitung persentasi total *defective* setiap mesin dan hasil tersebut akan dihitung dengan metode markovian linear programming dan menghasilkan kebijakan keputusan perawatan yang tepat. Hasil kebijakan keputusan perawatan adalah jika mesin berada pada *state* 0 dan *state* 1, maka biarkan mesin beroperasi dan jika mesin berada pada *state* 2 dan *state* 3, maka dilakukan pergantian *spare parts* ringan.

Kata kunci : Perawatan, Kebijakan Keputusan Perawatan, Markovian Linear Programming.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatkan efisiensi yang lebih baik pada kegiatan operasi di perusahaan merupakan hal yang harus dilakukan karena adanya persaingan yang tinggi di dunia perindustrian. Kesiapan mesin-mesin produksi pada saat dilakukannya produksi merupakan salah satu hal yang mendukung kelancaran kegiatan operasi pada suatu perusahaan, untuk mencapai hal tersebut diperlukan adanya suatu sistem perawatan atau pemeliharaan yang baik dan tepat. Kegiatan perawatan sesuai keputusan kebijakan yang tepat mempunyai peranan yang sangat penting untuk mendukung beroperasinya suatu sistem secara lancar sesuai yang dikehendaki.

Kegiatan perawatan dapat meminimalkan biaya produksi yang kurang efektif dan menghindari kerugian-kerugian yang disebabkan adanya kerusakan mesin. Suatu mesin terdiri dari berbagai komponen atau *spare parts* yang mendukung kelancaran operasi, sehingga apabila komponen atau *spare parts* tersebut mengalami kerusakan akan dapat mendatangkan kerugian yang sangat besar bagi perusahaan. Oleh sebab itu, suatu perencanaan kegiatan perawatan sangat penting untuk setiap mesin produksi untuk memaksimalkan sumber daya yang ada, sehingga keuntungan yang diperoleh perusahaan dengan lancarnya kegiatan produksi akan lebih besar.

PT XYZ merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang *offset printing*. Bahan baku utamanya adalah kertas dan tinta yang dijadikan *packaging*, buku, majalah, dan label. Produk yang dihasilkan berbagai macam design dan proses pengerjaan yang berbeda-beda juga. Dalam memenuhi permintaan produk yang cukup bervariasi, PT XYZ telah menetapkan kebijakan bahwa permintaan barang yang akan dikerjakan memiliki waktu pengerjaan maksimal tujuh (7) hari kerja terhitung diterbitkannya *purchase order*. Berdasarkan tingkat kesulitan yang berbeda dan waktu pengerjaan yang relatif pendek, maka PT XYZ diharuskan melakukan pengerjaan pada setiap mesin dengan cepat dan lancar. Mesin yang digunakan untuk membuat suatu produk

berbeda-beda. Mesin yang dimiliki PT XYZ adalah mesin *printing*, mesin *cutting*, mesin *folding*, mesin *trimming*, mesin *stitching*, mesin *gluing*, dan mesin UV Varnish. Mesin yang digunakan pada setiap produk adalah mesin *printing*, karena setiap produk yang dihasilkan oleh perusahaan ini merupakan produk hasil cetak.

Mesin *printing* sangat diperlukan untuk setiap produk, sehingga harus dipastikan bahwa mesin *printing* dijaga perawatannya. Keadaan saat penelitian, perusahaan melakukan perawatan rutin hanya sekali dua minggu. Perawatan yang dilakukan adalah perawatan rutin seperti pergantian oli, setting mesin, dan uji coba mesin cetak (tidak ada perlakuan khusus) sehingga jika sewaktu-waktu mesin mengalami kerusakan tiba-tiba, akan mengakibatkan *lost time* produksi. Kehilangan tersebut mempengaruhi biaya yang tinggi, baik untuk biaya perawatan, maupun profit perusahaan akan semakin kecil. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka penelitian ini mengusulkan sistem perawatan mesin dengan menggunakan keputusan kebijakan perawatan mesin dengan metode Markovian linear programming. Metode tersebut terbukti dapat mengoptimalkan tujuan produksi yang ingin dicapai dengan keputusan-keputusan yang akan dihasilkan. Metode ini diharapkan dapat menetapkan keputusan kebijakan perawatan mesin yang tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah diatas maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah: Bagaimana menentukan perencanaan kebijakan perawatan mesin dengan tindakan keputusan yang tepat yang memberikan ongkos perawatan yang minimum.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah menentukan perencanaan kebijakan perawatan mesin dengan tindakan keputusan yang tepat yang memberikan ongkos perawatan yang minimum.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini memiliki batasan-batasan agar fokus dalam menjawab permasalahan penelitian. Batasan-batasan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Mesin produksi yang akan menjadi obyek penelitian adalah mesin *printing* PT XYZ.
2. Penelitian dilakukan pada 1 Mei 2017 sampai dengan 30 Oktober 2017.
3. Jam dan hari kerja diasumsikan efektif selama 7 jam setiap hari senin sampai jumat, dan 5 jam pada hari sabtu dalam 3 shift.

1.5 Asumsi

Beberapa asumsi yang diterapkan agar analisis menjadi benar adalah:

1. Jumlah data yang digunakan diasumsikan telah cukup, sehingga tidak perlu uji kecukupan data
2. Kebijakan mengenai cara/teknik pengoperasian, perawatan repair, overhaul yang telah dilakukan perusahaan dianggap telah baik dan tidak dibahas.
3. Kerusakan berat secara tiba-tiba yang disebabkan oleh sistem terhadap mesin *printing* dianggap tidak ada.
4. Persentasi total *defective* produk yang dihasilkan oleh mesin berbanding lurus dengan tingkat deteriorasi dari mesin.
5. Status sistem dalam kondisi *steady state*.
6. Suku cadang mesin diasumsikan tersedia saat diperlukan baik dalam keadaan operasi normal maupun darurat.
7. Status sistem gerakan probabilitas sesuai model Markov.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika laporan penelitian ini terdiri dari lima bab. Lima bab tersebut terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berkaitan dengan dasar dilakukannya penelitian. Pada bab ini diuraikan:

- ❖ Latar belakang, yang menjelaskan mengapa masalah atau studi kasus yang diangkat dipandang menarik, penting, dan perlu diteliti untuk dicari pemecahan masalahnya.
- ❖ Tujuan penelitian, yaitu menguraikan apa yang menjadi tujuan penelitian ini.
- ❖ Batasan masalah, yaitu membatasi masalah yang sedang diteliti sehingga

penelitian menjadi terfokus.

- ❖ Metode penelitian, yaitu metode-metode yang digunakan penulis selama melakukan penelitian.
- ❖ Asumsi, berisi uraian atau opini yang dijalankan pada metode penelitian.
- ❖ Sistematika penulisan, berisi susunan bab-bab dalam pelaporan hasil penelitian.

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bab ini menjelaskan mengenai dasar dasar teori yang digunakan dalam mengolah data untuk memecahkan masalah yang terdapat di PT. Cahaya Prima Sentosa.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang diagram alir penelitian, metode pengumpulan data, data teknis.

BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALIS

Bab ini membahas tentang pengolahan data dan hasil analisis penentuan keputusan kebijakan perawatan mesin printing di PT XYZ dengan metode Markov linear programming.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil analisa data.

BAB II

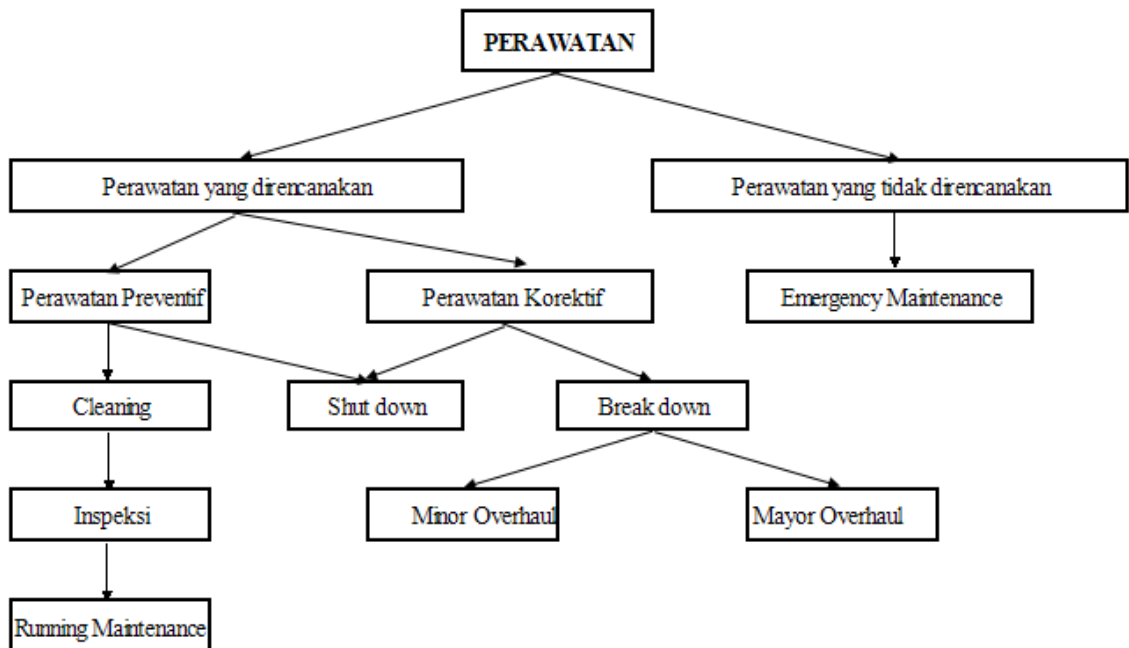
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perawatan

Perawatan tercakup dalam dua jenis pekerjaan yaitu istilah “perawatan” dan “perbaikan”. Perawatan merupakan aktivitas untuk mencegah kerusakan, sedangkan perbaikan merupakan tindakan untuk memperbaiki kerusakan (Moblely, 2008). Secara umum, ditinjau pada jenis pelaksanaan pekerjaan, perawatan dapat dibagi menjadi dua cara:

1. Perawatan yang direncanakan (*Planned Maintenance*).
2. Perawatan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*).

Secara skematik pembagian perawatan dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Skematik Pembagian Perawatan Mesin

2.2 Jenis-Jenis Perawatan

2.2.1 Perawatan Yang Direncanakan

Untuk menjalankan program produksi dengan gangguan minimum, maka waktu untuk pekerjaan perawatan perlu direncanakan sebaik mungkin. Waktu

pekerjaan perawatan ditentukan atas kondisi berikut:

- a. Kapan aktivitas produksi akan dihentikan karena adanya kebutuhan perawatan.
- b. Kapan pabrik tidak beroperasi karena jadwal waktu atau jam kerja yang sudah.

Penentuan jam operasi pabrik tergantung pada besar kecilnya industri, jenis dan tingkat produksi (Daryus 2007). Tabel 2.1 memperlihatkan berbagai sistem penggantian waktu kerja di industri, sehingga bisa ditentukan waktu yang tersedia untuk melakukan pekerjaan perawatan pada saat pabrik tidak beroperasi. Urutan perencanaan fungsi perawatan meliputi :

- a. Bentuk perawatan yang akan ditentukan.
- b. Pengorganisasian pekerjaan perawatan yang akan dilaksanakan dengan pertimbangan ke masa depan.
- c. Pengontrolan dan pencatatan.
- d. Pengumpulan semua masalah perawatan yang dapat diselesaikan dengan suatu bentuk perawatan.
- e. Penerapan bentuk perawatan yang dipilih:
 1. Kebijaksanaan perawatan yang telah dipertimbangkan secara cermat.
 2. Alternatif yang diterapkan menghasilkan suatu kemajuan.
 3. Pengontrolan dan pengarahan pekerjaan sesuai rencana.
 4. Riwayat perawatan dicatat secara statistik dan dihimpun serta dijaga untuk dievaluasi hasilnya guna menentukan persiapan berikutnya.

Tabel 2. 1 Sistem Pergantian Waktu Kerja di Industri

Sistem Penggantian Waktu Kerja (Shift)		Waktu yang tersedia untuk melakukan perawatan tanpa mengganggu kegiatan produksi	Keterangan
Keterangan Shift	Total Jam Produksi per minggu		
Satu shift (hari kerja) 8 jam x 5 hari 10 jam x 5 hari 12 jam x 5 hari	40 50 60	16 jam/hr + 2 hari kerja/libur = 128 jam 14 jam/hr + 2 hari kerja/libur = 118 jam 12 jam/hr + 2 hari/libur = 108 jam	Pabrik-pabrik umum
Dua shift 2 x 8 jam x 5 hari 2 x 8 jam x 5 hari + 8 jam Sabtu 2 x 8 jam x 6 hari	80 88 96	8 jam/hari + 2 hari kerja/libur = 88 jam 8 jam/hari + 1 hari + 16 jam kerja/libur = 80 jam 8 jam/hari + 1 hari kerja/libur = 72 jam	Produksi massal dan setengah kontinyu
Kerja Kontinyu 24 jam x 5 hari 24 jam x 5 ½ hari 24 jam x 6 hari 24 jam x 7 hari	120 132 144 168	20 hari kerja/libur = 48 jam 1 ½ hari kerja/libur = 36 jam 1 hari kerja/libur = 24 jam 0 (perencanaan waktu perawatan ditentukan oleh dept. produksi.	Pabrik dengan proses kontinyu: Kimia Kilang minyak Kerja baja Pelayanan umum : Gas, air, listrik.

Faktor-faktor yang diperhatikan dalam perencanaan pekerjaan perawatan adalah:

- a. Ruang lingkup pekerjaan. Pekerjaan yang dijadwalkan dan dilakukan dengan tindakan yang tepat diperlukan petunjuk maupun pengarahan yang jelas dan lengkap. Hal-hal yang dapat membantu untuk melakukan pekerjaan adalah adanya pengadaan skema dan gambar-gambar yang berhubungan dengan alur pekerjaan.
- b. Lokasi pekerjaan. Informasi letak atau lokasi pekerjaan yang tepat dimana tugas akan dilakukan, merupakan informasi yang diperlukan untuk mempercepat pelaksanaan pekerjaan. Penentuan lokasi dapat dibuat dengan memberikan kode tertentu agar lebih mudah dalam proses penunjukan lokasi perawatan.
- c. Prioritas pekerjaan. Pekerjaan harus dilakukan dengan sistematika urutan yang tepat. Dalam membuat daftar pekerjaan sebaiknya dibuatkan prioritas pekerjaan yang harus dikontrol sehingga pekerjaan yang dilakukan sesuai dengan urutan yang tepat. Contohnya, jika suatu mesin mempunyai peranan yang sangat penting disbanding dengan mesin lainnya, maka mesin tersebut merupakan prioritas utama.
- d. Metode yang digunakan “Membeli kemudian memasang” sangat berbeda artinya dengan “membuat kemudian memasang”. Meskipun banyak pekerjaan bisa dilakukan dengan berbagai cara, namun akan lebih baik jika penyelesaian pekerjaan tersebut dilakukan dengan metode yang sesuai dengan keahlian yang dipunyai. Kebutuhan material. Apabila ruang lingkup dan metode ke
- e. rja yang digunakan telah ditentukan, maka biasa diikuti dengan adanya kebutuhan material. Material yang dibutuhkan ini harus selalu tersedia.
- f. Kebutuhan alat perkakas. Sebaiknya alat yang khusus perlu diberi tanda pengenalan agar mudah penyediaannya bila akan digunakan. Kunci momen, dongkrak adalah termasuk alat-alat khusus yang perlu ditentukan kebutuhannya.
- g. Kebutuhan keahlian. Keahlian yang dimiliki seorang pekerja akan memudahkan dia bekerja.

- h. Kebutuhan tenaga kerja. Jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan dalam melakukan pekerjaan harus ditentukan untuk setiap jenis keahlian. Hal ini berguna dalam ketetapan pengawasannya.

Perawatan yang direncanakan dapat menghasilkan keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

- a. Kesiapan fasilitas industri lebih besar
 - 1. Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada peralatan bisa berkurang karena adanya sistem perawatan yang baik dan teratur.
 - 2. Pelaksanaan perawatan tidak banyak mengganggu kegiatan produksi, sehingga hilangnya waktu produksi menjadi minimum.
 - 3. Perawatan yang lebih sederhana dan teratur dapat mengurangi kemacetan produksi daripada adanya perawatan khusus yang mahal.
 - 4. Perlengkapan dan suku cadang yang dibutuhkan lebih mudah terkontrol dan selalu tersedia bilaman diperlukan.
- b. Pelayanan yang sederhana dan teratur, lebih cepat dan murah daripada memperbaiki kerusakan yang terjadi secara tiba-tiba.
- c. Pengelolaan dan pelayanan perawatan yang terencana dapat menjaga kesinambungan hasil industri dengan kualitas dan efisiensi yang tinggi.
- d. Pemanfaatan tenaga kerja lebih besar dan efektif.
 - 1. Frekuensi pekerjaan perawatan yang direncanakan dapat merata dalam setahunnya, sehingga penumpukan tugas perawatan akan berkurang.
 - 2. Tiap jenis pekerjaan perawatan lebih mudah diketahui kemajuannya dan dapat terkontrol secara efektif.
 - 3. Cara kerja perawatan yang positif dapat mempengaruhi sikap kerja menjadi lebih baik dengan pendekatan yang penuh dedikasi dan tanggung jawab.
- e. Adanya perhatian yang penuh untuk mengelola seluruh sarana dalam melayani program perawatan.

2.2.1.1 Perawatan Preventif

Perawatan preventif merupakan kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Dengan demikian semua fasilitas produksi yang mendapatkan perawatan preventif akan terjamin kelancaran kerjanya dan selalu diusahakan dalam kondisi atau keadaan yang siap digunakan setiap saat pada proses produksi. Perawatan preventif sangat penting karena kegunaannya sangat efektif dalam menghadapi fasilitas/peralatan produksi yang termasuk dalam critical unit. Sebuah fasilitas/peralatan produksi termasuk dalam critical unit apabila:

- a. Kerusakan fasilitas atau peralatan tersebut dapat membahayakan kesehatan dan keselamatan pekerja.
- b. Kerusakan fasilitas ini akan mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.
- c. Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
- d. Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut cukup besar atau mahal.

Menurut Amrine & Ritchey (1982), kegiatan perawatan preventif terdiri dari:

- a. Desain dan pemasangan peralatan yang sebaik-baiknya
- b. Pemeriksaan berkala terhadap fasilitas dan peralatan pabrik untuk mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan
- c. Pelayanan berulang, pemeliharaan dan penelitian terhadap fasilitas dan peralatan pabrik
- d. Pelumasan yang cukup, pembersihan dan perbaikan terhadap fasilitas dan peralatan pabrik

Dalam prakteknya perawatan preventif yang dilakukan oleh perusahaan dibedakan menjadi dua yaitu:

- a. Perawatan Routine Perawatan Routine adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara rutin. Kegiatan ini biasanya dilakukan setiap hari misalnya pembersihan, pelumasan, pengecekan, pemanasan peralatan produksi.

- b. Perawatan Periodic Perawatan Periodic adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu. Perawatan periodik dapat pula dilakukan dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan. Jadi sifat dari kegiatan perawatan ini tetap secara periodik atau berkala.

2.2.1.2 Perawatan *Corrective*

Perawatan *Corrective* merupakan kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah adanya kerusakan pada peralatan produksi, sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Kegiatan perawatan *corrective* sering disebut dengan perbaikan atau reparasi. Perbaikan yang dilakukan karena adanya kerusakan yang dapat terjadi karena tidak dilakukannya perawatan preventif ataupun telah dilakukan tetapi sampai pada suatu waktu tertentu peralatan produksi tetap rusak. Jadi dalam hal ini kegiatan perawatan sifatnya hanya menunggu sampai kerusakan terjadi terlebih dahulu, baru kemudian diperbaiki. Dengan demikian perusahaan hanya mengambil kebijakan *corrective* saja, maka terdapat faktor ketidaksesuaian proses produksi akibat ketidak lancaran fasilitas/peralatan produksi (Kurniawan 2013).

Kebijakan untuk melakukan perawatan korektif tanpa perawatan preventif akan menimbulkan akibat-akibat yang dapat menghambat kegiatan produksi apabila terjadi kerusakan tiba-tiba. Salah satu maksud utama dari kegiatan perawatan adalah untuk memelihara reliabilitas sistem pengoperasian pada tingkat yang dapat diterima dan tetap memaksimalkan laba atau meminimumkan biaya (Zainut, 2015). Kegiatan pemeliharaan yang cenderung untuk memiliki reliabilitas sistem termasuk dalam dua kategori kebijaksanaan pokok, antara lain:

1. Kebijakan-kebijakan yang cenderung untuk mengurangi frekuensi kerusakan-kerusakan:
 - i. Pemeliharaan preventif (termasuk pemeliharaan kondisional)
 - ii. Simplifikasi operasi
 - iii. Penggantian awal
 - iv. Perancangan reliabilitas ke dalam komponen-komponen sistem
 - v. Instruksi yang tepat kepada operator

2. Kebijakan-kebijakan yang cenderung untuk mengurangi akibat kerusakan:
 - i. Percepatan pelaksanaan reparasi (yaitu untuk meningkatkan jumlah tenaga reparasi)
 - ii. Mempermudah tugas reparasi
 - iii. Penyediaan keluaran alternatif selama waktu reparasi. Untuk tujuan perencanaan pemeliharaan, berbagai kebijakan dapat diuji dengan simulasi untuk menentukan pengaruh masing-masing kebijakan pada total biaya tahunan.

2.3 Bentuk-bentuk Perawatan

2.3.1 Pergantian Spare Part Ringan

Walaupun perawatan pencegahan telah dilakukan sedemikian rupa, namun pada kondisi tertentu dari peralatan perlu dilakukan pergantian *spare part* ringan. *Spare part* yang diganti dalam hal ini adalah *spare part* yang dalam bentuknya satuan atau *per item*, sedangkan lama pergantiannya tidak lebih dari 6 jam.

2.3.2 Overhaul

Overhaul merupakan suatu tindakan perawatan yang dilakukan terhadap mesin atau peralatan dengan cara mengganti *spare part* atau komponen mesin atau peralatan dengan cara mengganti *spare part* atau komponen mesin secara blok per blok secara menyeluruh apabila setelah dilakukan pengukuran komponen tersebut telah mencapai dibawah 70% yang merupakan standar perusahaan. Tindakan ini benar-benar akan merekondisi dari mesin yang bersangkutan sehingga setelah dilakukan overhaul, maka mesin akan berada pada kondisi yang jauh lebih baik dari kondisi apabila dilakukan pergantian *spare part* ringan (Taha 2011). Apabila suatu kondisi tertentu tidak atau belum dicapai, maka mesin dinyatakan belum layak operasi dan belum selesai di overhaul.

2.3.3. Perhitungan Ongkos

Ongkos ialah pengeluaran-pengeluaran yang diukur secara terus-menerus dalam uang atau yang potensial yang harus dikeluarkan untuk mencapai tujuan. Mengklasifikasikan ongkos-ongkos yang terjadi adalah sulit dengan kenyataan bahwa ongkos yang sama dapat saja mempunyai perilaku berbeda dalam konteks

yang berbeda, akan tetapi secara umum jenis ongkos yang didatangkan dan cara ongkos ini diklasifikasikan, akan tergantung pada tipe organisasi yang membutuhkan.

2.4 Rantai Markov

Proses markov adalah suatu sistem stokastik yang mempunyai sifat-sifat terjadinya suatu *state* pada waktu yang akan datang, hanya tergantung pada *state* tepat pada sebelumnya. Secara matematis, sifat markov ini adalah sebagai berikut:

$$P \left\{ X_{t+1} = \frac{j}{X_t} = i \right\} = P \left\{ X_{t+1} = \frac{j}{X_t} = i, X_{t-1} = i_1, X_{t-2} = i_2, \dots, X_0 = i_t \right\}$$

Untuk $t = 0, 1, 2, \dots$, dan setiap urutan j, i, i_1, \dots, i_t .

Probabilitas bersyarat,

$$P \left\{ X_{t+1} = \frac{j}{X_t} = i \right\} = P_{ij}$$

yang disebut probabilitas transisi satu tahap (Bilyan 2014).

2.4.1 Probabilitas Steady State

Probabilitas steady *state* rantai makrov dapat dinyatakan sebagai,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P^{(n)}_{i,j} \text{ yang independen terhadap } i$$

Selanjutnya,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P^{(n)}_{i,j} = \pi_j$$

(Hindra 2013)

2.5 Ekspektasi Rata-rata Ongkos per Satuan Waktu Rantai Markov

Hasil dari probabilitas *steady-state* sangat penting dalam rangka menghitung ekspektasi rata-rata ongkos per satuan waktu yang berhubungan dengan rantai makrov (Hidayah 2013). Ongkos ini dapat dihitung dengan persamaan

$$E(C) = \sum_{i=1}^m C_{ik} \pi_i$$

Keterangan,

C_{ik} = ongkos jika sistem dalam *state* i dan keputusan k diambil

π_i = probabilitas *steady state* ke i

2.6 Rantai Markov Permanen

Rantai Markov permanen adalah suatu model makrov, dengan salah satu atau lebih statusnya bersifat permanen. Ciri-ciri rantai makrov permanen adalah sebagai berikut

1. Matriks transisi mengandung satu atau lebih status permanen, yaitu status dimana bila memasuki status tersebut tidak dapat keluar lagi (permanen).
2. Setelah melampaui sejumlah tahap tertentu, maka memungkinkan setiap status bukan permanen akan berpindah menjadi status permanen.

Jika matriks transisi P ditulis dalam bentuk

$$P = \begin{bmatrix} Q & r \\ s & P_{rr} \end{bmatrix}$$

Keterangan,

r = vektor kolom

s = vektor baris

set sistem r-1 dapat ditulis dengan notasi matriks sebbagai berikut:

$$N = I + Q N \text{ atau } (I - Q) N = I$$

Karena setiap kolom N tampak hanya dalam satu set persamaan di atas dapat dipecahkan dengan metoda Gauss Yordan.

Jumlah waktu rata-rata pertama kali masuk ke status r dari status I, m_{ir} , adalah jumlah elemen baris ke i dari N. Jika persamaan di atas yaitu ruas kanan dikalikan dengan jumlah vektor, maka akan dihasilkan persamaan berikut:

$$(I - Q) m = 1$$

Keterangan,

$$m = (m_{1r}, m_{2r}, \dots, m_{r-1}, r)$$

Persamaan-persamaan di atas dapat juga digunakan untuk menghitung waktu rata-rata menetap dalam status r, jika status r adalah status permanen dalam rantai Markov.

2.7 Ilustrasi Model Markov

Beberapa persoalan yang menuntut suatu pemecahan dapat diselesaikan dengan model keputusan Markov. Persoalan-persoalan yang sering timbul yang dapat diselesaikan dengan model keputusan ini adalah persoalan persediaan, pemeliharaan dan peremajaan peralatan, pengelolaan aliran uang, pengaturan

kapasitas penampungan air, penelitian pasar dengan memeriksa dan meramalakan perilaku pelanggan, dan lain-lain. Untuk dapat memahami model dari penyelesaian persoalan keputusan Markov, berikut ini akan dikemukakan suatu ilustrasi dari persoalan keputusan model pemeliharaan.

Suatu proses produksi terdapat mesin yang kualitas dan outputnya menurun dengan cepat. Pemeriksaan dilakukan secara periodik, misalnya setiap hari. Setelah diperiksa, kondisi mesin dicatat dan diklasifikasikan ke dalam satu dari empat kemungkinan status sebagai berikut:

STATUS	KONDISI
0	Mesin kondisi baik
1	Mesin dapat dioperasikan dengan penurunan kualitas dan output yang kecil
2	Mesin dapat dioperasikan dengan penurunan kualitas dan output yang besar
3	Mesin Rusak (kualitas outputnya tidak dapat diteriima)

2.8 Formulasi Markovian Linear Programming

Dalam formulasi linear programming yang akan dibuat yaitu untuk menyatakan hubungan variabel Y_{ik} terhadap D_{ik} . Adapun Y_{ik} merupakan probabilitas unconditional (steady-state) bahwa sistem berada dalam *state* i dan keputusan k diambil, yaitu

$$Y_{ik} = P(\text{state} = i \text{ dan keputusan} = k)$$

Lebih lanjut, Y_{ik} dapat diinterpretasikan sebagai probabilitas steady-state suatu sistem berada dalam *state* i , bila tindakan didasarkan pada kebijakan yang dihasilkan. Berdasarkan aturan probabilitas kondisional, maka

$$Y_{ik} = \pi_i D_{ik}$$

Keterangan,,

$$\pi_i = \sum_{k=1}^k Y_{ik}$$

$$D_{ik} = P(\text{keputusan} = k / \text{state} = i)$$

$$k = 1, 2, \dots, k$$

$$i = 0, 1, \dots, m$$

sehingga,

$$\begin{aligned} D_{ik} &= Y_{ik} / \pi_i \\ &= Y_{ik} / \sum_{k=1}^k Y_{ik} \end{aligned}$$

Hasil akhir dari formulasi linear programming yaitu untuk menghasilkan nilai Y_{ik} dengan meminimumkan ekspektasi rata-rata ongkos yang terjadi (Siswanto, 2007).

Adapun rumusan dari linear programming adalah sebagai berikut:

$$\text{Fungsi tujuan} \rightarrow \text{Minimasi ongkos } Z = \sum_{i=0}^m \sum_{k=1}^k C_{ik} Y_{ik}$$

Dengan pembatas-pembatas,

$$1. \sum_{k=1}^k Y_{ik} - \alpha \sum_{i=0}^m \sum_{k=1}^k Y_{ik} P_{ij}(k) = \beta_j$$

$$\text{Untuk } j \text{ (state)} = 0, 1, \dots, m$$

$$k \text{ (keputusan)} = 1, 2, \dots, k$$

β_j = konstanta, dengan ketentuan $\beta_j > 0$ dan

$$\sum_{i=0}^m \beta_j = 1$$

keterangan:

Y_{ik} = Variabel keputusan dari *state* i ke j

P_{ij} = Probabilitas transisi dari *state* i ke j

$$2. Y_{ik} > 0$$

$$\text{Untuk } j \text{ (state)} = 0, 1, \dots, m$$

$$k \text{ (keputusan)} = 1, 2, \dots, k$$

2.8.1 Penentuan Discounted Factor

Sebagai alternatif ukuran untuk memperoleh ongkos dalam jangka panjang, digunakan discounted factor (α). Besarnya nilai dinyatakan $\alpha < 1$, sehingga nilai sekarang dalam 1 unit ongkos selama m perioda yang akan datang adalah sebesar α^m . Dengan demikian α dapat dinyatakan dengan rumus matematika berikut:

$$\alpha = 1/(1+i)$$

Keterangan,

i = tingkat suku bunga yang berlaku

2.9 Uji Keseragaman Data

Beberapa metoda statistik dapat digunakan untuk menguji keseragaman dalam keperluan mengetahui karakteristik data. Salah satu uji keseragaman data yang dapat digunakan adalah uji Kruskal-Wallis. Metoda ini untuk menguji hipotesis apakah k sampel berasal dari populasi yang identik terhadap hipotesis alternative bahwa populasi mempunyai rata-rata yang tidak sama (Wijaya 2012).

Nyatakan n_i ($i = 1, 2, \dots, k$) adalah jumlah observasi dalam sampel ke- i . Pertama-tama kombinasikan semua sampel k dan susun observasi $n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$ dari yang terkecil ke yang terbesar. Substitusikan peringkat data yang sesuai dari 1, 2, ..., n untuk setiap observasi. Jumlah peringkat observasi yang berkesesuaian dengan observasi n_i dalam sampel ke- i dinyatakan dengan variabel random R_i .

Statistik

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Merupakan pendekatan sangat baik dari distribusi Chi-kuadrat dengan $k-1$ derajat kebebasan bila hipotesis adalah benar dan jika sampel berisikan paling sedikit 5 observasi. Statistik H diambil dari harga h , dengan :

$$h = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{r_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

Adapun perumusan hipotesa adalah sebagai berikut:

H_0 : (*in quantity* production mesin setiap 1 minggu pemeriksaan adalah seragam dan berasal dari populasi yang identik)

H_1 : (*in quantity* production mesin setiap 1 minggu pemeriksaan adalah tidak seragam dan berasal dari populasi yang identik)

2.9.1 Pengujian keseragaman data persen *defective* mesin

Data observasi dari pemeriksaan mesin dilakukan setiap minggu yang berbentuk persen *defective* setiap mesin (Tabel 3.1)

Tabel 2. 2 Data Observasi in Quantity Production Mesin Setiap 1 Minggu Pemeriksaan

Periode Mesin	1	2	3	4	5	6	.	.	n
1	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆			X _{1n}
2	X ₂₁								X _{2n}
3	X ₃₁								X _{3n}
4	X ₄₁								X _{4n}

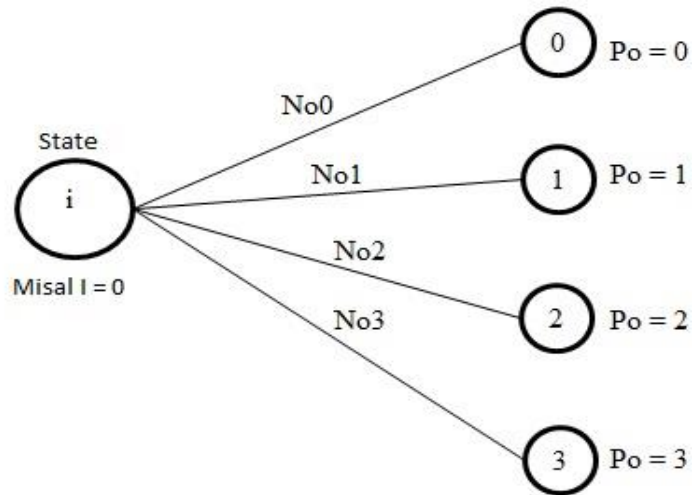
Untuk penentuan probabilitas transisi dari model Markov dimana pengelompokan ke dalam 4 *state* didekati dengan pengelompokan ke dalam 4 *state* didekati dengan pengelompokan ini dapat ditentukan probabilitas transisi dari *state* i ke *state* j. Adapun pengelompokan persen *defective* mesin tersebut didekati dengan perhitungan rumus Sturges yaitu sebagai berikut:

1. Range (R) = $X_{j(\max)} - X_{i(\min)}$
2. Jumlah kelas *state* (K) = 4 (0,1,2, dan 3)
3. Panjang interval kelas *state* (i) = R/K

Sehingga batas kelas setiap *state* adalah:

STATE	Batas kelas persen <i>defective</i> mesin
0	$> X_{i(\min)}^{+1}$
1	$(X_{i(\min)}^{+1}) \text{ s.d } (X_{i(\min)}^{+2i})$
2	$(X_{i(\min)}^{+2i}) \text{ s.d } (X_{i(\min)}^{+3i})$
3	$\geq (X_{i(\min)}^{+3i})$

Probabilitas transisi dari suatu *state* (i) ke *state* yang lain didekati dengan proporsi dari *state* i ke *state* j. Dengan kata lain probabilitas transisi dari *state* i ke j (P_{ij}) didekati dengan hasil bagi antara jumlah persen *defective* dari *state* i ke *state* j dalam seluruh perioda oengamatan. Secara grafis dan matematis pernyataan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Diagram Pohon dari State i ke j

Sedangkan,

$$P_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^T n_{ij}(t)}{\sum_{t=1}^T n_i(t)}$$

Keterangan,

P_{ij} = probabilitas transisi dari *state* i ke j

$N_{ij}(t)$ = jumlah persen *defective* mesin dari *state* i ke j selama perioda t

$N_i(t)$ = jumlah populasi *state* i selama perioda t

T = jumlah perioda pengamatan

Dan nilai, $P_{ij} \geq 0$, untuk semua i dan j

$$\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1, \text{ untuk semua } i$$

Selanjutnya nilai-nilai yang didapat dari perhitungan tersebut disusun dalam bentuk matrik probabilitas transisi sebagai berikut:

	a_1	a_2	a_3	a_4
	0	1	2	3
$a_1=0$	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}
$a_2=0$	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}
$a_3=0$	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}
$a_4=0$	P_{41}	P_{42}	P_{43}	P_{44}

2.10 Penentuan Matrik Ongkos Kebijakan Keputusan

Matrik ongkos kebijakan keputusan adalah suatu matrik yang memuat ongkos total yang terjadi selama transisi. Selanjutnya, jika sistem dalam *state* i dan keputusan k diambil (C_{jk}).

Untuk kebijakan keputusan yang diusulkan, maka ongkos-ongkos yang terlibat dibagi ke dalam 3 komponen ongkos yaitu adalah,

1. Ongkos ekspektasi terhadap item *defective* yang terjadi
2. Ongkos perawatan (*maintenance cost*)
3. Ongkos kehilangan produksi.

Selanjutnya, total ketiga komponen ongkos tersebut dimasukkan ke dalam matrik ongkos kebijakan keputusan sebagai berikut ini:

Keputusan <i>State</i>	C_{ik} (dalam dollar)		
	1	2	3
0			
1			
2			
3			

2.10.1 Penentuan Kebijakan Keputusan Optimal terhadap setiap State Mesin

Penentuan kebijakan keputusan optimal terhadap setiap *state* mesin didasarkan pada D_{ik} , yaitu diperoleh dari

$$D_{ik} = Y_{ik} / \sum_{k=1}^k Y_{ik}$$

Sedangkan nilai D_{ik} berbentuk bilangan biner yaitu 0 atau 1. Apabila nilai $D_{ik} = 1$, ini dapat menyatakan bahwa untuk keputusan k diambil apabila sistem berada dalam *state* i , dengan demikian D_{ik} dinyatakan sebagai berikut:

$$D_{ik} = \{ \text{Keputusan} = k / \text{state} = i \}$$

	Keputusan		
	1	2	3
0	D_{01}	D_{02}	D_{03}
1	D_{11}	D_{12}	D_{13}
2	D_{21}	D_{22}	D_{23}
3	D_{31}	D_{32}	D_{33}

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pemecahan permasalahan pada penelitian ini dilakukan dengan cara-cara pemecahan permasalahan sesuai model yang dikembangkan dan metode yang digunakan. Langkah-langkah pemecahan masalah mengenai penentuan rencana perawatan mesin *printing* di PT XYZ adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data penelitian
2. Analisis data
3. Penentuan kebijakan keputusan optiman terhadap setiap *state* mesin *printing*

3.1 Pengumpulan Data Penelitian

Tahap awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengumpulan data. Data yang dikumpulkan diantaranya:

1. Data *inquantity* dan *outquantity* serta data *defective* setiap mesin dalam 1 minggu operasi
2. Data ongkos produksi *defective* setiap mesin dalam 1 minggu operasi
3. Data ongkos perawatan (*maintenance cost*) setiap 1 minggu operasi
4. Data ongkos kehilangan produksi

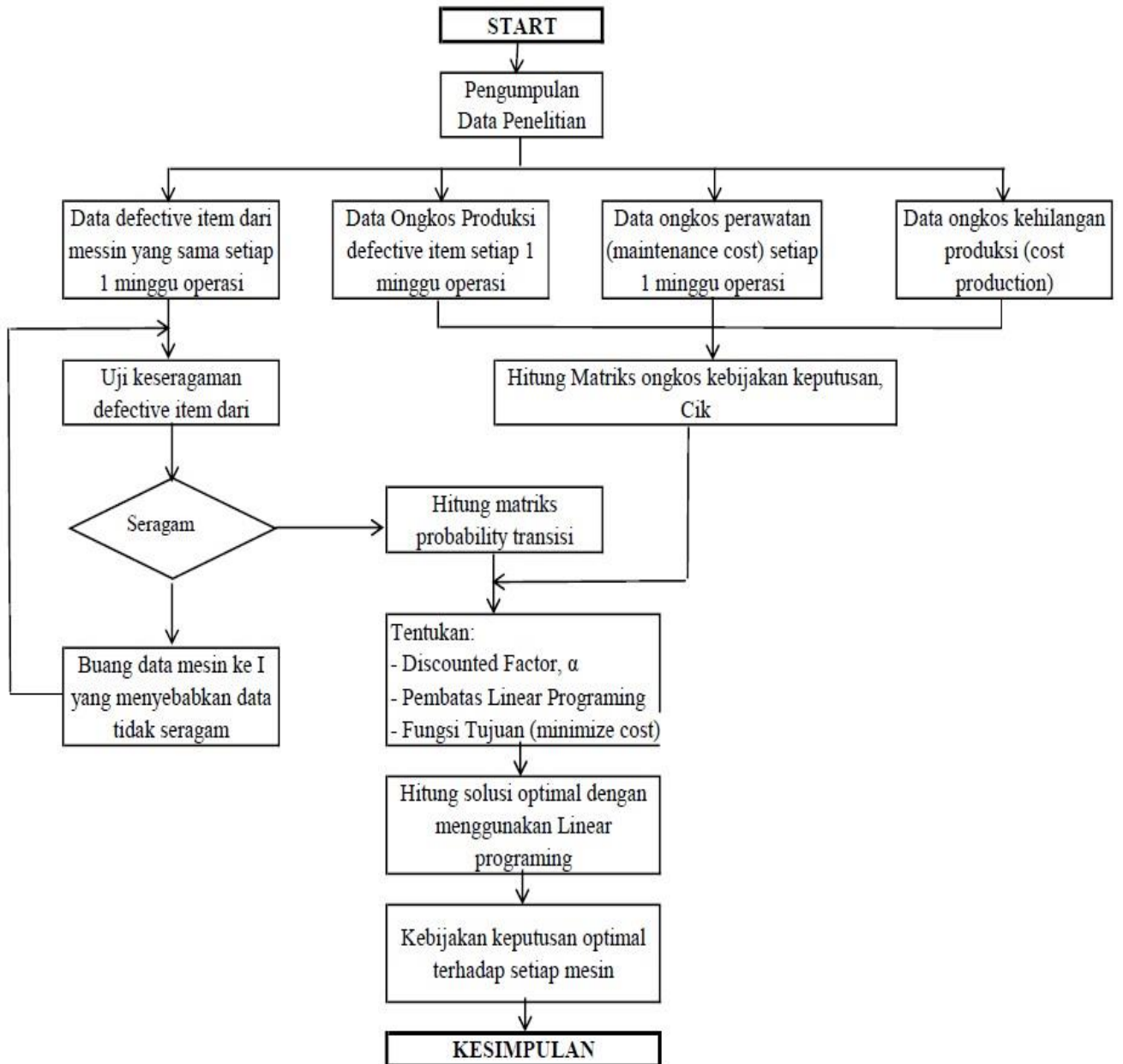
3.2 Analisis Data

Data-data yang sudah dikumpulkan, kemudian dianalisis untuk menentukan hasil keputusan kebijakan perawatan mesin *printing*. Analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Penentuan model markov
2. Uji keseragaman data *defective* dari setiap minggu operasi
3. Penentuan matriks ongkos kebijakan keputusan (C_{ik})
4. Penentuan matriks probabilitas transisi
5. Penentuan *minimum cost*

3.3 Penentuan Kebijakan Perawatan Mesin *Printing*

Penentuan kebijakan keputusan perawatan mesin printing dilakukan dengan menggunakan linear programming pada *software* POM3. Berdasarkan metodologi yang sudah diuraikan diatas, dapat digambarkan secara garis besar pada gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

BAB IV

DATA DAN ANALISIS

PT XYZ adalah perusahaan yang bergerak dibidang jasa percetakan. Perusahaan ini menghasilkan produk sesuai permintaan dari pelanggan. Hasil cetakan dapat dibuat menjadi produk akhir seperti buku manual, kartu garansi, label, dan packaging. Produk yang dihasilkan akan menggunakan mesin-mesin sesuai spesifikasi produk yang diminta dari pelanggan. Mesin yang akan selalu digunakan dalam pembuatan produk ini adalah mesin cetak (*printing*), sehingga penelitian ini dilakukan pada mesin *printing*. Perusahaan ini memiliki empat (4) buah mesin *printing*. Masing-masing mesin memiliki spesifikasi yang sama dan jumlah *output* yang sama yaitu 8000-9000 lembar per jam. Berdasarkan kesamaan jenis mesin dan *output* yang sama, dapat dilakukan penentuan perawatan berdasarkan persen *defective*. Penentuan perawatan mesin *printing* dapat ditentukan dengan beberapa proses dibawah ini.

1.1 Pengumpulan Data

4.1.2 Data *inquantity* dan *outquantity* serta data *defective* setiap mesin dalam 1 minggu operasi

Data total *defective* adalah data yang diperoleh berdasarkan *in quantity* production dan *output quantity production* mesin setiap minggu sesuai dengan data yang sesungguhnya. Persentasi total *defective* dihasilkan dari pembagian total *defective* (*reams* kertas) dengan *in quantity production*. Data ini secara keseluruhan disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Persen Total Defective per Periode

Printing Machine	PERIODE 1			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1.920	1.914	6	0,313%
P2	1.900	1.895	5	0,263%
P5	1.912	1.909	3	0,157%
P6	1.912	1.908	4	0,209%

TOTAL	7.644	7.626	18	0,942%
--------------	--------------	--------------	-----------	---------------

Tabel 4.1 (Lanjutan) Data Persen Total Defective per Periode

Printing Machine	PERIODE 2			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,900	1,893	7	0.368%
P2	1,702	1,697	5	0.294%
P5	1,806	1,801	5	0.277%
P6	1,913	1,907	6	0.314%
TOTAL	7,321	7,298	23	1.253%

Printing Machine	PERIODE 3			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,800	1,794	6	0.333%
P2	1,780	1,776	4	0.225%
P5	1,860	1,853	7	0.376%
P6	1,780	1,774	6	0.337%
TOTAL	7,220	7,197	23	1.271%

Printing Machine	PERIODE 4			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,900	1,892	8	0.421%
P2	1,779	1,773	6	0.337%
P5	1,791	1,786	5	0.279%
P6	1,880	1,874	6	0.319%
TOTAL	7,350	7,325	25	1.357%

Printing Machine	PERIODE 5			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,900	1,894	6	0.316%
P2	1,800	1,796	4	0.222%
P5	1,780	1,775	5	0.281%
P6	1,779	1,775	4	0.225%

TOTAL	7,259	7,240	19	1.044%
--------------	--------------	--------------	-----------	---------------

Tabel 4.1 (Lanjutan) Data Persen Total Defective per Periode

Printing Machine	PERIODE 6			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,792	1,785	7	0.391%
P2	1,692	1,684	8	0.473%
P5	1,874	1,871	3	0.160%
P6	1,850	1,846	4	0.216%
TOTAL	7,208	7,186	22	1.240%

Printing Machine	PERIODE 7			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,798	1,791	7	0.389%
P2	1,901	1,894	7	0.368%
P5	1,771	1,766	5	0.282%
P6	1,894	1,889	5	0.264%
TOTAL	7,364	7,340	24	1.304%

Printing Machine	PERIODE 8			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,791	1,784	7	0.391%
P2	1,900	1,894	6	0.316%
P5	1,794	1,786	8	0.446%
P6	1,780	1,774	6	0.337%
TOTAL	7,265	7,238	27	1.490%

Printing Machine	PERIODE 9			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,772	1,766	6	0.339%
P2	1,738	1,730	8	0.460%
P5	1,780	1,774	6	0.337%
P6	1,918	1,911	7	0.365%

TOTAL	7,208	7,181	27	1.501%
--------------	--------------	--------------	-----------	---------------

Tabel 4.1 (Lanjutan) Data Persen Total Defective per Periode

Printing Machine	PERIODE 10			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,920	1,910	10	0.521%
P2	1,771	1,763	8	0.452%
P5	1,900	1,893	7	0.368%
P6	1,892	1,885	7	0.370%
TOTAL	7,483	7,451	32	1.711%

Printing Machine	PERIODE 11			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,798	1,789	9	0.501%
P2	1,901	1,893	8	0.421%
P5	1,771	1,763	8	0.452%
P6	1,894	1,885	9	0.475%
TOTAL	7,364	7,330	34	1.848%

Printing Machine	PERIODE 12			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,791	1,782	9	0.503%
P2	1,900	1,891	9	0.474%
P5	1,794	1,786	8	0.446%
P6	1,780	1,771	9	0.506%
TOTAL	7,265	7,230	35	1.928%

Printing Machine	PERIODE 13			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,795	1,790	5	0.279%
P2	1,898	1,894	4	0.211%
P5	1,767	1,761	6	0.340%
P6	1,911	1,903	8	0.419%

TOTAL	7,371	7,348	23	1.247%
--------------	--------------	--------------	-----------	---------------

Tabel 4.1 (Lanjutan) Data Persen Total Defective per Periode

Printing Machine	PERIODE 14			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,913	1,905	8	0.418%
P2	1,891	1,886	5	0.264%
P5	1,891	1,882	9	0.476%
P6	1,800	1,792	8	0.444%
TOTAL	7,495	7,465	30	1.603%

Printing Machine	PERIODE 15			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,867	1,860	7	0.375%
P2	1,918	1,908	10	0.521%
P5	1,792	1,783	9	0.502%
P6	1,824	1,815	9	0.493%
TOTAL	7,401	7,366	35	1.892%

Printing Machine	PERIODE 16			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,753	1,743	10	0.570%
P2	1,891	1,883	8	0.423%
P5	1,778	1,766	12	0.675%
P6	1,888	1,882	6	0.318%
TOTAL	7,310	7,274	36	1.986%

Printing Machine	PERIODE 17			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,797	1,791	6	0.334%
P2	1,777	1,770	7	0.394%
P5	1,898	1,892	6	0.316%
P6	1,797	1,787	10	0.556%

TOTAL	7,269	7,240	29	1.600%
--------------	--------------	--------------	-----------	---------------

Tabel 4.1 (Lanjutan) Data Persen Total Defective per Periode

Printing Machine	PERIODE 18			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,900	1,894	6	0.316%
P2	1,913	1,906	7	0.366%
P5	1,905	1,898	7	0.367%
P6	1,920	1,911	9	0.469%
TOTAL	7,638	7,609	29	1.518%

Printing Machine	PERIODE 19			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,815	1,805	10	0.551%
P2	1,918	1,910	8	0.417%
P5	1,788	1,779	9	0.503%
P6	1,893	1,886	7	0.370%
TOTAL	7,414	7,380	34	1.841%

Printing Machine	PERIODE 20			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,790	1,779	11	0.615%
P2	1,690	1,681	9	0.533%
P5	1,872	1,864	8	0.427%
P6	1,848	1,840	8	0.433%
TOTAL	7,200	7,164	36	2.007%

Printing Machine	PERIODE 21			
	IN Quantity	Out Quantity	Total Defective	% Total Defective
P1	1,910	1,902	8	0.419%
P2	1,898	1,891	7	0.369%
P5	1,788	1,782	6	0.336%
P6	1,795	1,790	5	0.279%

TOTAL	7,391	7,365	26	1.402%
--------------	--------------	--------------	-----------	---------------

Tabel 4.1 (Lanjutan) Data Persen Total *Defective* per Periode

Printing Machine	PERIODE 22			
	IN Quantity	Out Quantity	Total <i>Defective</i>	% Total <i>Defective</i>
P1	1,932	1,922	10	0.518%
P2	1,798	1,789	9	0.501%
P5	1,799	1,791	8	0.445%
P6	1,917	1,908	9	0.469%
TOTAL	7,446	7,410	36	1.932%

Printing Machine	PERIODE 23			
	IN Quantity	Out Quantity	Total <i>Defective</i>	% Total <i>Defective</i>
P1	1,889	1,877	12	0.635%
P2	1,916	1,905	11	0.574%
P5	1,897	1,889	8	0.422%
P6	1,916	1,904	12	0.626%
TOTAL	7,618	7,575	43	2.257%

Printing Machine	PERIODE 24			
	IN Quantity	Out Quantity	Total <i>Defective</i>	% Total <i>Defective</i>
P1	1,908	1,893	15	0.786%
P2	1,787	1,775	12	0.672%
P5	1,814	1,803	11	0.606%
P6	1,803	1,795	8	0.444%
TOTAL	7,312	7,266	46	2.508%

Perhitungan total *defective* dapat dilakukan dengan memperoleh data *in quantity* dan *out quantity* pada setiap periode. PT XYZ merupakan perusahaan *offset printing* yang memiliki hari kerja sebanyak 6 hari dan 3 shift kerja. Hari kerja Senin sampai dengan hari Jumat, seluruh karyawan bekerja selama 7 jam, dan pada hari Sabtu bekerja selama 5 jam, sehingga total jam kerja per minggu adalah 40 jam per orang dan 120 jam kerja untuk pemakaian mesin.

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4 buah mesin *printing* dengan rata-rata maksimum output per jam 8000 lembar atau sama dengan 16 rim kertas per jam. Total maksimum *output* mesin per periode adalah 960.000 lembar atau sama dengan 1.920 rim kertas. Perhitungannya dapat dilihat dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah jam kerja per orang} &= \text{Senin-Jumat (7 jam x 5 hari) + Sabtu (5 jam)} \\ &= 40 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah jam pemakaian mesin} &= \text{jumlah jam kerja x 3 shift} \\ &= 120 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimum Output per periode} &= 8.000 \text{ lembar x 120 jam} \\ &= 960.000 \text{ lembar} \\ &= 960.000 / 500 = 1920 \text{ rim} \end{aligned}$$

Perhitungan total *defective* per periode dapat ditentukan dengan contoh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Total defective mesin P1; periode1} &= \frac{\text{inquantity-outquantity}}{\text{inquantity}} \times 100\% \\ &= \frac{1920-1914}{1920} \times 100\% \\ &= 0.313\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total defective mesin P6; periode5} &= \frac{\text{inquantity-outquantity}}{\text{inquantity}} \times 100\% \\ &= \frac{1779-1775}{1779} \times 100\% \\ &= 0.225\% \end{aligned}$$

4.1.2 Data Ongkos Ekspektasi Terhadap Total *Defective*

Berdasarkan data yang sudah dicatat di perusahaan, ongkos ekspektasi terhadap *defective* dihitung berdasarkan harga produk jadi per rim dikalikan dengan 35% (35% x \$94.366) yaitu \$33.028 dan dikalikan terhadap jumlah *defective* yang dihasilkan mesin tiap minggu/periode untuk mesin yang sedang diobservasi. Harga tersebut merupakan harga yang sudah dibakukan oleh perusahaan sesuai dengan pengamatan sebelumnya.

Rata-rata % total *defective* dan total jumlah *defective* dihasilkan didasarkan pada penentuan % total *defective* minimum dan maksimum. Perhitungan dapat dilihat pada contoh perhitungan berikut ini:

Contoh perhitungan rata-rata persentasi *defective*:

$$\begin{aligned} \text{Minimum \%} &= 0,157\% \\ \text{Maximum \%} &= 0,786\% \\ \text{Range \% defective} &= (0,157 - 0,786)\% = 0,629\% \\ \text{Rata-rata range} &= 0,629\% / 4 \text{ state} = 0,157\% \\ \text{Rata-rata \% defective :} \\ \text{State 0} &= (0,157 + 0,157)\% = 0,314\% \\ \text{State 1} &= (0,314 + 0,157)\% = 0,472\% \\ \text{State 2} &= (0,472 + 0,157)\% = 0,629\% \\ \text{State 3} &= (0,629 + 0,157)\% = 0,786\% \end{aligned}$$

Contoh perhitungan rata-rata *defective*:

$$\begin{aligned} \text{Minimum} &= 3 \text{ rim} \\ \text{Maximum} &= 15 \text{ rim} \\ \text{Range defective} &= (15 - 3) \text{ rim} = 12 \text{ rim} \\ \text{Rata-rata range} &= 12 \text{ rim} / 4 \text{ state} = 3 \text{ rim} \\ \text{Rata-rata defective :} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{State 0} &= (3 + 3) \text{ rim} = 6 \text{ rim} \\ \text{State 1} &= (6 + 3) \text{ rim} = 9 \text{ rim} \\ \text{State 2} &= (9 + 3) \text{ rim} = 12 \text{ rim} \\ \text{State 3} &= (12 + 3) \text{ rim} = 15 \text{ rim} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan ongkos ekspektasi *defective*:

$$\begin{aligned} \text{Ongkos ekspektasi defective} &= \text{jumlah defective} \times \text{ongkos ekspektasi per rim} \\ \text{State 0} &= 6 \text{ rim} \times \$33.028 \\ &= \$198.168 \\ \text{State 1} &= 9 \text{ rim} \times \$33.028 \\ &= \$297.252 \\ \text{State 2} &= 12 \text{ rim} \times \$33.028 \\ &= \$393.335 \\ \text{State 3} &= 15 \text{ rim} \times \$33.028 \\ &= \$495.419 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, data ongkos ekspektasi terhadap total *defective* dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini

Tabel 4. 2 Data Ongkos Ekspektasi Terhadap Total Defective

STATE	RATA-RATA DEFECTIVE (%)	RATA-RATA DEFECTIVE (REAMS)	ONGKOS EKPEKTASI DEFECTIVE (\$)
0	0,314%	6	198.168
1	0,472%	9	297.252
2	0,629%	12	396.335
3	0,786%	15	495.419

4.1.3 Ongkos Perawatan

Ongkos perawatan merupakan ongkos yang dikeluarkan karena terdapat tindakan perawatan sehubungan dengan keputusan kebijakan perawatan setiap status yang sudah ditentukan. Ongkos-ongkos tersebut didasarkan pada setiap *state*, sebagai berikut

- a. Kebijakan Keputusan Perawatan 1 (Biarkan mesin apa adanya)

Ongkos yang dibutuhkan untuk masing-masing *state* adalah

State 0:

1. Pergantian Oli = \$ 54,58
2. Maintenance Setting Up = \$ 25,5
3. Jasa karyawan (oli) = \$ 10,15
- Total Ongkos perawatan = \$ 90,226

State 1:

1. Pergantian Oli = \$ 54,5
2. Maintenance Setting Up = \$ 325,20
3. Jasa karyawan (oli) = \$ 100,15
4. Pembersihan Mesin = \$ 196,842
- Total Ongkos perawatan = \$ 676,692

State 2:

1. Pergantian Oli = \$ 54,5
2. Maintenance Setting Up = \$ 680,25
3. Jasa karyawan (oli) = \$ 200,30
4. Pembersihan Mesin = \$ 343,145

Total Ongkos perawatan = \$ 1278,195

State 3:

1. Pergantian Oli = \$ 54,5

2. Maintenance Setting Up = \$ 2390,25

3. Jasa karyawan (oli) = \$ 400,60

4. Pembersihan Mesin = \$ 914.048

Total Ongkos perawatan = \$ 3759.398

Data ini diperoleh dari hasil observasi mesin-mesin yang sedang beroperasi dan mengidentifikasi statusnya, kemudian dihitung rata-rata ongkos perawatan total dari masing-masing status mesin

b. Kebijakan Keputusan Perawatan 2 (Pergantian *spare part* ringan)

Ongkos yang dibutuhkan adalah \$5338.346, jenis-jenis spare parts yang harus diganti adalah kabel flexible, kabel optic, kabel head, konektor head, ink pump, dc pump, ink tank, sensor bahan, belt, dan selang. Data ini diperoleh dari data ongkos jenis-jenis *spare part* yang akan diganti jika terjadi status tersebut ini terjadi.

2. Kebijakan Keputusan Perawatan 3 (*Overhaul* atau *Recondition*)

Ongkos yang dibutuhkan adalah \$7142.857 jenis-jenis spare parts yang diganti pada kebijakan keputusan 3 adalah mainboard, printhead board, io board, pci card, luster, sensor encoder, servo drive, servo motor, kabel flexible, kabel optic, kabel head, konektor head, ink pump, dc pump, ink tank, sensor bahan, belt, dan selang. Data ini diperoleh dari data ongkos jenis-jenis komponen-komponen yang akan diganti jika terjadi status ini. Data ongkos perawatan dapat dilihat pada Tabel 4.3 sebagai berikut

Tabel 4. 3 Data Ongkos Perawatan

STATE	KEPUTUSAN (\$)		
	1	2	3
0	90.226	5338.346	7142.857
1	676.692	5338.346	7142.857
2	1278.195	5338.346	7142.857
3	3759.398	5338.346	7142.857

4.1.4 Ongkos Kehilangan Produksi

Ongkos kehilangan produksi merupakan ongkos yang dikeluarkan akibat mesin yang tidak dapat beroperasi karena mesin tersebut sedang dalam tindakan perbaikan yaitu karena adanya pergantian *spare part* ringan maupun indakan *overhaul*. Jadi ongkos kehilangan produksi tidak terjadi pada kebijakan keputusan peraan 1 (biarkan mesin apa adanya). Adapun ongkos kehilangan produksi adalah sebagai berikut:

- a. Ongkos kehilangan produksi akibat tindakan pergantian *spare part* ringan:

$$\text{Ongkos} = \text{jumlah waktu pada saat tindakan pergantian } \textit{spare parts} \times \text{rata-rata unit } \textit{in quantity} \text{ (rim)} / \text{jumlah waktu produksi per minggu (jam)} \times \text{harga jual produk (\$)}$$

$$\text{Ongkos} = 5 \text{ jam} \times 1842 \text{ reams} / (40 \text{ jam} \times 3 \text{ shift}) \times \$94.366$$

$$\text{Ongkos} = \$7241.904$$

Sehingga ongkos kehilangan produksi akibat tindakan pergantian *spare part* ringan adalah \$7241.904

- b. Ongkos kehilangan produksi akibat tindakan *overhaul*:

$$\text{Ongkos} = \text{jumlah waktu pada saat } \textit{overhaul} \text{ (jam)} \times \text{rata-rata unit } \textit{in quantity} \text{ (rim)} / \text{jumlah waktu produksi per minggu (jam)} \times \text{harga jual produk (\$)}$$

$$\text{Ongkos} = 10 \text{ jam} \times 1842 \text{ reams} / (40 \text{ jam} \times 3 \text{ shift}) \times \$94.366$$

$$\text{Ongkos} = \$14483.807$$

Sehingga ongkos kehilangan produksi akibat tindakan pergantian *spare part* ringan adalah \$14483.807

Keterangan:

- a. Rata-rata produksi per minggu = 1842 rim (sesuai Tabel 4.4)
b. Jam kerja per minggu 40 jam x 3 shift = 120 jam

4.2 Analisis Data

4.2.1 Penentuan Model Markov

Penentuan model markov dapat disajikan sebagai berikut:

STATE	KONDISI
0	Baik seperti baru
1	Mesin dapat beroperasi dengan minor deteriorasi (tingkat kerusakan mesin kecil)
2	Mesin dapat beroperasi dengan mayor deteriorasi mesin (tingkat kerusakan mesin besar)
3	Mesin dapat beroperasi dengan mayoritas kualitas output tidak dapat diterima (produknya banyak <i>defective</i>)

KEPUTUSAN KEBIJAKAN PERAWATAN	TINDAKAN
1	Biarkan mesin apa adanya (tidak dilakukan perawatan mesin)
2	Penggantian <i>spare parts</i> ringan
3	<i>Overhaul</i> atau <i>Recondition</i>

4.2.2 Uji Keseragaman Data In Quantity material pada Mesin

Uji keseragaman data merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui apakah data *in quantity* mesin yang diobservasi selama 6 (enam) bulan tersebut merupakan data populasi yang identik. Pengujian ini dilakukan dengan Uji Kruskal-Wallis dengan menggunakan $\alpha = 0.05$. Uji keseragaman data dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Uji Keseragaman Data In Quantity material pada Mesin

Mes in	PERIODE											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P1	1920.0	1900.0	1800.0	1900.0	1900.0	1792.0	1798.0	1791.0	1772.0	1920.0	1798.0	1791.0
P2	1900.0	1702.0	1780.0	1779.0	1800.0	1692.0	1901.0	1900.0	1738.0	1771.0	1901.0	1900.0
P5	1912.0	1806.0	1860.0	1791.0	1780.0	1874.0	1771.0	1794.0	1780.0	1900.0	1771.0	1794.0
P6	1912.0	1913.0	1780.0	1880.0	1779.0	1850.0	1894.0	1780.0	1918.0	1892.0	1894.0	1780.0

Tabel 4.4 (Lanjutan) Uji Keseragaman Data *In Quantity* material pada Mesin

Mesin	PERIODE											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P1	1795.0	1913.0	1867.0	1753.0	1797.0	1900.0	1815.0	1790.0	1910.0	1932.0	1889.0	1908.0
P2	1898.0	1891.0	1918.0	1891.0	1777.0	1913.0	1918.0	1690.0	1898.0	1798.0	1916.0	1787.0
P5	1767.0	1891.0	1792.0	1778.0	1898.0	1905.0	1788.0	1872.0	1788.0	1799.0	1897.0	1814.0
P6	1911.0	1800.0	1824.0	1888.0	1797.0	1920.0	1893.0	1848.0	1795.0	1917.0	1916.0	1803.0

Note: Rata-rata *in quantity* = 176.816 / 96 = 1842 rim

Uji Kruskal-Wallis adalah uji yang sangat berguna untuk menentukan apakah k sampel independen berasal dari populasi-populasi yang berbeda (Siegel, 1986). Hipotesis yang ada dalam uji Kruskal- Wallis adalah:

H_0 : Populasi mesin (P1, P2, P5, P6) memiliki median yang sama.

H_1 : Tidak semua populasi mesin (P1, P2, P5, P6) memiliki median yang sama.

Apabila keputusan yang diambil adalah menolak H_0 maka kesimpulan yang diperoleh adalah tidak semua populasi mesin memiliki median yang sama atau dengan kata lain tidak semua populasi asal sampel sama. Untuk mengetahui populasi-populasi mana yang berbeda dapat dilakukan perbandingan berganda.

Selain menggunakan program, penentuan nilai Kruskal - Wallis (H) dapat ditentukan dengan rumus berikut ini:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

$$H = \frac{12}{96(96+1)} \left(\frac{1210.5^2 + 1116.0^2 + 923.5^2 + 1310.0^2}{24} \right) - 3(96+1)$$

$$H = -7.5099$$

Dari output hasil analisis di atas dapat diketahui statistik uji Kruskal-Wallis (H) adalah -7.5099. Dengan $n_1 = 24$, $n_2 = 24$, $n_3 = 24$ dan $n_4 = 24$ serta $\alpha = 0,05$ didapatkan harga kritis statistik uji Kruskal-Wallis adalah 7.8150. Karena $-7.5099 < 7.8150$ maka keputusan yang diambil adalah menerima H_0 , artinya populasi mesin (P1, P2, P5, P6) memiliki median yang sama dan berasal dari populasi yang

identik. Berdasarkan program Quick Basic, maka dihasilkan hasil perhitungan yang disajikan pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4. 5 Perhitungan Keseragaman Data In-quantity Produksi

Mesin ke (k)	Jumlah Ranking Data	Jumlah Data (ni)
1	1210.500	24
2	1116.000	24
3	923.500	24
4	1310.000	24
Jumlah Seluruh Data (n)		96

Keterangan:

Mesin ke-1 = Mesin P1

Mesin ke-2 = Mesin P2

Mesin ke-3 = Mesin P5

Mesin ke-4 = Mesin P6

Hasil:

Nilai Kruskal - Wallis (H) = -7.5100

Tingkat Signifikansi (Alpha) = 0.05

Derajat Kebebasan (V) = 3

Nilai Tabel Chi-Square = 7.8150

Kesimpulan Tes Hipotesa :

Ho Diterima, artinya Rata-rata jumlah produksi (*in quantity*) setiap mesin adalah seragam dan berasal dari populasi yang identik.

4.2.3 Matriks Ongkos Kebijakan Keputusan

Matriks ongkos kebijakan keputusan merupakan ongkos yang dihasilkan berdasarkan keputusan pada setiap *state* yang dimaksud. Ongkos kebijakan keputusan dihasilkan dari perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{State 0; Kebijakan 1} &= \text{Ongkos ekspektasi defective (Tabel 4.2) + ongkos} \\
 &\quad \text{perawatan (Tabel 4.3) state 0} \\
 &= \$198.168 + 90.226 \\
 &= \$288.393
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{State 1; Kebijakan 1} &= \text{Ongkos ekspektasi } \textit{defective} \text{ (Tabel 4.2) + ongkos} \\
&\text{ perawatan (Tabel 4.3) } \textit{state 1} \\
&= \$297.252 + 676.692 \\
&= \$973.943
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{State 2; Kebijakan 1} &= \text{Ongkos ekspektasi } \textit{defective} \text{ (Tabel 4.2) + ongkos} \\
&\text{ perawatan (Tabel 4.3) } \textit{state 2} \\
&= \$396.335 + 1278.195 \\
&= \$1674.531
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{State 3; Kebijakan 1} &= \text{Ongkos ekspektasi } \textit{defective} \text{ (Tabel 4.2) + ongkos} \\
&\text{ perawatan (Tabel 4.3) } \textit{state 3} \\
&= \$495.419 + 3759.398 \\
&= \$4254.818
\end{aligned}$$

Ongkos kebijakan keputusan 1 dihitung berdasarkan jumlah ongkos ekspektasi *defective* dan ongkos perawatan pada *state*-nya masing-masing karena pada keputusan kebijakan perawatan 1 (biarkan mesin apa adanya) tidak mengalami kehilangan produksi, namun menghasilkan *defective* yang berbeda-beda jumlahnya, sehingga total ongkos kebijakannya berbeda-beda pada setiap *state*.

Untuk perhitungan ongkos kebijakan keputusan 2 pada *state* 0, 1, 2, dan 3 dihitung dengan perhitungan yang sama yaitu

$$\begin{aligned}
\text{Kebijakan 2} &= \text{Ongkos perawatan (Tabel 4.2) + kehilangan produksi (pergantian} \\
&\text{ } \textit{sparepart}) \text{ (disajikan pada sub bab 4.5)} \\
&= \$5338.346 + 7241.904 \\
&= \$12580.250
\end{aligned}$$

Untuk perhitungan ongkos kebijakan keputusan 3 pada *state* 0, 1, 2, dan 3 dihitung dengan perhitungan yang sama yaitu

$$\begin{aligned}
\text{Kebijakan 3} &= \text{Ongkos perawatan (Tabel 4.2)+ kehilangan produksi (} \textit{overhaul} \\
&\text{ (disajikan pada sub bab 4.5)} \\
&= \$7142.857 + 14483.807 \\
&= \$21626.665
\end{aligned}$$

Perhitungan ongkos kebijakan keputusan perawatan 2 dan 3 pada semua *state* adalah sama, karena pada *state* manapun jika dilakukan pergantian *sparepart*

maupun terjadinya *overhaul*, akan membuat kehilangan proses produksi, yang mengakibatkan terjadinya kerugian akibat tindakan tersebut. Perbedaan kebijakan keputusan perawatan 2 dan 3 pada ongkos kehilangan produksi adalah total jam yang digunakan untuk tindakan tersebut. Pergantian *sparepart* ringan dilakukan rata-rata selama 5 jam, sedangkan untuk tindakan *overhaul* dilakukan selama 10 jam, sehingga total ongkos kehilangan produksi pada kebijakan keputusan perawatan 2 dan 3 berbeda. Selain itu untuk ongkos perawatan yang dilakukan pada kebijakan keputusan perawatan 2 dan 3 berbeda karena pada masing-masing tindakan, terdapat beberapa detail perawatan yang dilakukan. Berdasarkan perhitungan di atas, maka matriks ongkos kebijakan keputusan dapat dilihat pada Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Matriks Ongkos Kebijakan Keputusan Perawatan

STATE	ONGKOS KEBIJAKAN KEPUTUSAN PERAWATAN		
	1	2	3
0	288.393	12580.250	21626.665
1	973.943	12580.250	21626.665
2	1674.531	12580.250	21626.665
3	4254.818	12580.250	21626.665

4.2.4 Penentuan Matriks Probabilitas Transisi

Penentuan kebijakan keputusan perawatan optimal dilakukan dengan menentukan batas kelas persen *defective* mesin pada setiap *state*-nya. Penentuan kebijakan keputusan perawatan optimal dilakukan untuk menentukan kebijakan keputusan yang paling optimal dilakukan pada mesin setiap periodenya. Penentuan ini dilakukan berdasarkan persen total *defective* (hasil perhitungan pada sub bab 4.1) yang disajikan pada tabel 4.7 berikut ini:

Tabel 4. 7 Persentasi Total Defective Mesin

Me sin	PERIODE											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P1	0.313%	0.368%	0.333%	0.421%	0.316%	0.391%	0.389%	0.391%	0.339%	0.521%	0.501%	0.503%
P2	0.263%	0.294%	0.225%	0.337%	0.222%	0.473%	0.368%	0.316%	0.460%	0.452%	0.421%	0.474%
P5	0.157%	0.277%	0.376%	0.279%	0.281%	0.160%	0.282%	0.446%	0.337%	0.368%	0.452%	0.446%
P6	0.209%	0.314%	0.337%	0.319%	0.225%	0.216%	0.264%	0.337%	0.365%	0.370%	0.475%	0.506%

Tabel 4.7 (Lanjutan) Persentasi Total Defective Mesin

Me sin	PERIODE											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P1	0.279%	0.418%	0.375%	0.570%	0.334%	0.316%	0.551%	0.615%	0.419%	0.518%	0.635%	0.786%
P2	0.211%	0.264%	0.521%	0.423%	0.394%	0.366%	0.417%	0.533%	0.369%	0.501%	0.574%	0.672%
P5	0.340%	0.476%	0.502%	0.675%	0.316%	0.367%	0.503%	0.427%	0.336%	0.445%	0.422%	0.606%
P6	0.419%	0.444%	0.493%	0.318%	0.556%	0.469%	0.370%	0.433%	0.279%	0.469%	0.626%	0.444%

Berdasarkan Tabel 4.7 diatas, kemudian dihitung batas kelas persen *defective* seperti pada Tabel 4.8 berikut ini:

Tabel 4. 8 Batas Kelas Persen Defective Mesin

State	Batas Kelas Persen Defective Mesin
0	0.000 - 0.313
1	0.314 - 0.470
2	0.471 - 0.627
3	> 0.628

Sumber Hasil pengolahan dengan program Quick Basic)

Berdasarkan Tabel 4.8 tentang batas kelas *defective* mesin setiap *state*, maka dapat ditentukan setiap periode berada pada *state* sesuai nilai diatas. Contohnya: Periode 1 (mesin P1), % total *defective* adalah 0.313%, maka *state* pada mesin P1 di periode 1 berada dalam *state* 0. Berdasarkan contoh tersebut, maka dihasilkan *state* mesin yang disajikan pada Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4. 9 Kebijakan Keputusan Perawatan Berdasarkan Persen *Defective*

Mesin	Periode																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3	3
P2	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	2	0	0	2	1	1	1	1	2	1	2	2	3
P5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	2	1	1	1	1	2
P6	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	0	1	2	1

Berdasarkan tabel 4.9 diatas, maka dihasilkan matriks frekuensi transisi sesuai dengan contoh sebagai berikut:

Mesin	Periode																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
P1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	1	1	2	1	1	2	2	1	2	3	3
P2	0	0	0	1	0	2	1	1	1	1	1	2	0	0	2	1	1	1	1	2	1	2	2	3
P5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	1	1	2	1	1	1	1	2
P6	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	0	1	2	1

Gambar 4. 1 Contoh Perhitungan Matriks Frekuensi Transisi

Berdasarkan Tabel 4.10 diatas, matriks frekuensi transisi dihasilkan dari hasil matriks sesuai *state*. Contohnya *state* 0-0, jumlah pada 24 periode dan 4 mesin adalah 9; *State* 0-1, jumlah pada 24 periode dan 4 mesin adalah 8, dan seterusnya. Berdasarkan contoh diatas, matriks frekuensi transisi dapat disajikan pada Tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4. 10 Matrik Frekuensi Transisi

State	0	1	2	3	Total
0	9	8	2	0	19
1	0	32	14	0	46
2	0	0	6	3	9
3	0	0	0	1	1

Tabel 4. 11 Matriks Probabilitas Transisi - 1 (Biarkan mesin apa adanya)

State	0	1	2	3
0	0.4737	0.4211	0.1053	0.0000
1	0.0000	0.6957	0.3043	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.6667	0.3333
3	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Matriks probabilitas transisi tersebut digunakan pada keputusan pertama. Penentuan matriks probabilitas keputusan kedua ditentukan dengan *adjustment* dengan asumsi bahwa jika pada *state* 0 (baik seperti baru) dilakukan transisi kedua (penggantian *spare parts* ringan), maka mesin akan berada pada kondisi *state* 0 juga karena jika mesin berada pada keadaan baik dan dilakukan pergantian *spare parts*, maka keadaan mesin akan tetap sama. Jika pada *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriosasi) dilakukan penggantian *spare parts* ringan, maka mesin akan tetap berada dikondisi *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriosasi), karena mesin akan tetap beroperasi dengan tingkat kerusakan kecil karena *spare parts* yang diganti hanya *spare parts* yang ringan artinya tidak berpengaruh besar pada kerusakan.

Jika pada *state* 2 (mesin dapat beroperasi dengan mayor deteriosasi) dilakukan penggantian *spare parts* ringan, maka mesin akan tetap berada dikondisi *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriosasi), karena tingkat kerusakan yang besar pada awalnya akan diganti dengan *spare parts* sehingga tingkat kerusakan akan menjadi kecil tetapi tidak dapat kembali pada keadaan baru. Jika pada *state* 3 (mesin dapat beroperasi dengan mayoritas kualitas output tidak dapat diterima (*defective*)) dilakukan penggantian *spare parts* ringan, maka mesin akan berada dikondisi *state* 2 (mesin dapat beroperasi dengan mayor deteriosasi), karena tingkat kerusakan yang sangat tinggi dapat dikurangi dengan pergantian *spare parts* tetapi tetap tidak dapat kembali pada kondisi optimal. Berdasarkan pembahasan tersebut, maka disajikan pada Tabel 4.12 sebagai berikut.

**Tabel 4. 12 Matriks Probabilitas Transisi Kebijakan Keputusan -2
(Penggantian spare parts ringan)**

State	0	1	2	3
0	1	0	0	0
1	0	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0

Penentuan matriks probabilitas keputusan ketiga ditentukan dengan *adjustment* dengan asumsi bahwa jika pada *state* 0 (baik seperti baru) dilakukan transisi kedua (*overhaul* atau *recondition*), maka mesin akan berada pada kondisi *state* 0 juga, karena jika mesin berada pada keadaan baik dan *overhaul*, maka keadaan mesin akan tetap sama seperti keadaan baru. Jika pada *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriorasi) dilakukan *overhaul* atau *recondition*, maka mesin akan tetap berada dikondisi *state* 0 (baik seperti baru), karena jika mesin berada pada tingkat kerusakan kecil, maka keadaan mesin akan tetap sama seperti keadaan baru.

Jika pada *state* 2 (mesin dapat beroperasi dengan mayor deteriorasi) dilakukan penggantian *overhaul* atau *recondition*, maka mesin akan tetap berada dikondisi *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriorasi). Jika pada *state* 3 (mesin dapat beroperasi dengan mayoritas kualitas output tidak dapat diterima (*defective*)) dilakukan *overhaul* atau *recondition*, maka mesin akan berada dikondisi *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriorasi). Berdasarkan pembahasan, maka disajikan pada Tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Matriks Probabilitas Transisi Kebijakan Keputusan 3 (*Overhaul* atau *Recondition*)

State	0	1	2	3
0	1	0	0	0
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	0	0

4.2.5 Penentuan Minimum Cost

Untuk menentukan hasil akhir perhitungan, maka harus ditentukan fungsi tujuan dan fungsi pembatas terlebih dahulu. Penentuan fungsi tujuan dan fungsi pembatas dari *linear programming* yang dapat dilihat pada Bab II. Berdasarkan rumus dan perhitungan, maka dihasilkan fungsi-fungsi dibawah ini:

Fungsi Tujuan

$$\text{Minimasi ongkos } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^k C_{ik} Y_{ik}$$

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & 288.393 Y_{01} + 12580.250 Y_{02} + 21626.665 Y_{03} + 973.943 Y_{11} + \\ & 12580.250 Y_{12} + 21626.665 Y_{13} + 1674.531 Y_{21} + 12580.250 Y_{22} + \\ & 21626.665 Y_{23} + 4254.818 Y_{31} + 12580.250 Y_{32} + 21626.665 Y_{33} \end{aligned}$$

Fungsi Pembatas:

$$\sum_{k=1}^k Y_{ik} - \alpha \sum_{k=1}^k Y_{ik} P_{ij}(k) = \beta_j$$

$$\text{Dimana } \alpha = 1/(1+i) = 1/(1+0,00625) = 0.99$$

$$\begin{aligned} J=0 ; & Y_{01} + Y_{02} + Y_{03} - 0.99(Y_{01}.P_{00}^{(i=0; k=1)} + Y_{02}.P_{00}^{(i=0; k=2)} + Y_{03}.P_{00}^{(i=0; k=3)} + Y_{11}. \\ & P_{10}^{(i=1; k=1)} + Y_{12}.P_{10}^{(i=1; k=2)} + Y_{13}.P_{10}^{(i=1; k=3)} + Y_{21}.P_{20}^{(i=2; k=1)} + Y_{22}.P_{20}^{(i=2; k=2)} + \\ & Y_{23}.P_{20}^{(i=2; k=3)} + Y_{31}.P_{30}^{(i=3; k=1)} + Y_{32}.P_{30}^{(i=3; k=2)} + Y_{33}.P_{30}^{(i=3; k=3)} = 0.25 \\ & 0.531037Y_{01} + 0.01Y_{02} + 0.01Y_{03} + 0Y_{11} + 0Y_{12} - 0.99Y_{13} + 0Y_{21} + 0Y_{22} + \\ & 0Y_{23} + 0Y_{31} + 0Y_{32} + 0Y_{33} = 0.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J=1 ; & Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} - 0.99(Y_{01}.P_{01}^{(i=0; k=1)} + Y_{02}.P_{01}^{(i=0; k=2)} + Y_{03}.P_{01}^{(i=0; k=3)} + Y_{11}. \\ & P_{11}^{(i=1; k=1)} + Y_{12}.P_{11}^{(i=1; k=2)} + Y_{13}.P_{11}^{(i=1; k=3)} + Y_{21}.P_{21}^{(i=2; k=1)} + Y_{22}.P_{21}^{(i=2; k=2)} + \\ & Y_{23}.P_{21}^{(i=2; k=3)} + Y_{31}.P_{31}^{(i=3; k=1)} + Y_{32}.P_{31}^{(i=3; k=2)} + Y_{33}.P_{31}^{(i=3; k=3)} = 0.25 \\ & -0.416889Y_{01} + 0Y_{02} + 0Y_{03} + 0.311257Y_{11} + 0.01Y_{12} + 1Y_{13} + 0Y_{21} - 0.99Y_{22} \\ & -0.99Y_{23} + 0Y_{31} + 0Y_{32} - 0.99Y_{33} = 0.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J=2 ; & Y_{21} + Y_{22} + Y_{23} - 0.99(Y_{01}.P_{02}^{(i=0; k=1)} + Y_{02}.P_{02}^{(i=0; k=2)} + Y_{03}.P_{02}^{(i=0; k=3)} + Y_{11}. \\ & P_{12}^{(i=1; k=1)} + Y_{12}.P_{12}^{(i=1; k=2)} + Y_{13}.P_{12}^{(i=1; k=3)} + Y_{21}.P_{22}^{(i=2; k=1)} + Y_{22}.P_{22}^{(i=2; k=2)} + \\ & Y_{23}.P_{22}^{(i=2; k=3)} + Y_{32}.P_{32}^{(i=3; k=1)} + Y_{32}.P_{32}^{(i=3; k=2)} + Y_{33}.P_{32}^{(i=3; k=3)} = 0.25 \\ & -0.104247Y_{01} + 0Y_{02} + 0Y_{03} - 0.301257Y_{11} + 0Y_{12} + 0Y_{13} + 0.339967Y_{21} + 1Y_{22} \\ & + 1Y_{23} + 0Y_{31} - 0.99Y_{32} + 0Y_{33} = 0.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J=3 ; & Y_{31} + Y_{32} + Y_{33} - 0.99(Y_{01}.P_{03}^{(i=0; k=1)} + Y_{02}.P_{03}^{(i=0; k=2)} + Y_{03}.P_{03}^{(i=0; k=3)} + Y_{11}. \\ & P_{13}^{(i=1; k=1)} + Y_{12}.P_{13}^{(i=1; k=2)} + Y_{13}.P_{13}^{(i=1; k=3)} + Y_{21}.P_{23}^{(i=2; k=1)} + Y_{22}.P_{23}^{(i=2; k=2)} + \\ & Y_{23}.P_{23}^{(i=2; k=3)} + Y_{32}.P_{33}^{(i=3; k=1)} + Y_{32}.P_{33}^{(i=3; k=2)} + Y_{33}.P_{33}^{(i=3; k=3)} = 0.25 \end{aligned}$$

$$0Y_{01} + 0Y_{02} + 0Y_{03} + 0Y_{11} + 0Y_{12} + 0Y_{13} - 0.329967Y_{21} + 0Y_{22} + 0Y_{23} + 0.01Y_{31} + 1Y_{32} + 1Y_{33} = 0.25$$

Berdasarkan fungsi-fungsi di atas, kemudian dimasukkan kedalam *software* POM3 dengan data input yang disajikan pada Tabel 4.14 sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Data input pada program POM3

(untitled) Solution														RHS	Dual
	Y01	Y02	Y03	Y11	Y12	Y13	Y21	Y22	Y23	Y31	Y32	Y33			
Minimize	288.393	12580.25	21626.66	973.9943	12580.25	21626.66	1674.531	12580.25	21626.66	4254.82	12580.25	21626.66			
Constraint 1	.531037	.01	.01	0	0	-.99	0	0	0	0	0	0	=	.25	
Constraint 2	-.416889	0	0	.311257	.01	1	0	-.99	-.99	0	0	-.99	=	.25	
Constraint 3	-.104247	0	0	-.301257	0	0	.339967	1	1	0	-.99	0	=	.25	
Constraint 4	0	0	0	0	0	0	-.329967	0	0	.01	1	1	=	.25	
Solution->	.470777	0	0	75.87852	0	0	0	23.40551	0	0	.25	0		371633.3	

Kemudian diperoleh hasil solusinya yang disajikan pada Tabel 4.15 sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Hasil Running Program POM3

(untitled) Solution		
Variable	Status	Value
Y01	Basic	.470777
Y02	NONBasic	0
Y03	NONBasic	0
Y11	Basic	75.87852
Y12	NONBasic	0
Y13	NONBasic	0
Y21	NONBasic	0
Y22	Basic	23.40551
Y23	NONBasic	0
Y31	NONBasic	0
Y32	Basic	.25
Y33	NONBasic	0
artfcl 1	NONBasic	0
artfcl 2	NONBasic	0
artfcl 3	NONBasic	0
artfcl 4	NONBasic	0
Optimal Value (Z)		371633.3

Berdasarkan tabel di atas, maka dihasilkan minimum cost sebesar \$371.633.30.

4.3 Penentuan Kebijakan Perawatan Mesin *Printing*

Untuk menentukan keputusan akhir, maka dapat dilihat pada Tabel di atas. Berdasarkan tabel di atas, dapat disajikan matriks Y_{ij} pada Tabel 4.16 sebagai berikut:

Tabel 4. 16 Matriks Y_{ij} Hasil Perhitungan Linear Programming

<i>State</i>	1	2	3
0	0.470777	0	0
1	75.87852	0	0
2	0	23.40551	0
3	0	0.25	0

Berdasarkan tabel matriks tersebut, dapat menghasilkan hasil kebijakan keputusan perawatan mesin *printing*, yakni dengan menjumlahkan nilai Y_{ij} setiap *state* pada setiap keputusan dibagi dengan jumlah *state* tersebut. Contohnya dapat dilihat pada perhitungan berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{State 0, keputusan 1} &= \text{Hasil keputusan 1} / (\text{Hasil keputusan 1} + 2 + 3) \\ &= 0.470777 / (0.470777 + 0 + 0) \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{State 0, keputusan 2} &= \text{Hasil keputusan 2} / (\text{Hasil keputusan 1} + 2 + 3) \\ &= 0 / (0.470777 + 0 + 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{State 0, keputusan 3} &= \text{Hasil keputusan 3} / (\text{Hasil keputusan 1} + 2 + 3) \\ &= 0 / (0.470777 + 0 + 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{State 1, keputusan 1} &= \text{Hasil keputusan 1} / (\text{Hasil keputusan 1} + 2 + 3) \\ &= 75.87852 / (75.87852 + 0 + 0) \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{State 1, keputusan 2} &= \text{Hasil keputusan 2} / (\text{Hasil keputusan 1} + 2 + 3) \\ &= 0 / (75.87852 + 0 + 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{State 1, keputusan 3} &= \text{Hasil keputusan 3} / (\text{Hasil keputusan 1} + 2 + 3) \\ &= 0 / (75.87852 + 0 + 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka akan diperoleh matriks keputusan kebijakan perawatan mesin *printing* (matriks D_{ij}) yang disajikan pada Tabel 4.17 dibawah ini:

Tabel 4.17 Matriks Keputusan Kebijakan Perawatan Mesin Printing (Matriks D_{ij})

State	1	2	3
0	1	0	0
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	1	0

Berdasarkan hasil tersebut, mesin berada pada *state* 0 (baik seperti baru), maka kebijakan perawatan mesin dengan keputusan 1 (biarkan mesin apa adanya). Jika mesin berada pada *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriorasi), maka kebijakan perawatan mesin dengan keputusan 1 yaitu biarkan mesin apa adanya. Jika mesin berada pada *state* 2 (dapat beroperasi dengan mayor deteriorasi) dan mesin berada pada *state* 3 (Dapat beroperasi dengan mayoritas kualitas output tidak dapat diterima), maka kebijakan perawatan mesin dengan keputusan 2, yaitu penggantian *spare parts* ringan. Berdasarkan hasil tersebut, tidak dilakukan kebijakan perawatan mesin pada keputusan 3 (*overhaul*), karena persen *defective* setiap mesin yang dihasilkan atau yang terjadi di perusahaan tersebut tidak melebihi nilai batas maksimum persen *defective* (0,628%), sehingga keputusannya tidak dilakukan *overhaul*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pengamatan yang dilakukan di PT XYZ, maka kebijakan perawatan mesin *printing* adalah:

1. Jika mesin berada pada *state* 0 (mesin dengan keadaan baik seperti baru) dan *state* 1 (mesin dapat beroperasi dengan minor deteriorasi-tingkat kerusakan mesin kecil), maka kebijakan keputusan perawatan mesin adalah kebijakan keputusan perawatan 1 (biarkan mesin beroperasi apa adanya)
2. Jika mesin berada pada *state* 2 (mesin dapat beroperasi dengan mayor deteriorasi (tingkat kerusakan mesin besar) dan *state* 3 (mesin dapat beroperasi dengan mayor deteriorasi (tingkat kerusakan mesin besar), maka kebijakan keputusan perawatan mesin adalah kebijakan keputusan perawatan 2 (dilakukan pergantian *spare parts* ringan)

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian ini adalah penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan mencatat data *in quantity* lebih panjang untuk menghasilkan rencana perawatan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bilyan, U. 2014. “Penyelesaian Model Tahap Terhingga dan Takhingga pada Proses Keputusan Markov dan Aplikasinya di Bidang Pertanian” (*skripsi*). Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Daryus A. 2007. *Manajemen Pemeliharaan Mesin*. Jakarta: Universitas Darma Persada.
- Hindra. 2013. “Penyelesaian Program Linier Stokastik dengan Markov Chain” (*Tesis*). Medan. Universitas Sumatera Utara
- Hidayah N. 2013. “Penyelesain Masalah Manajerial dengan Metode Iterasi Kebijakan pada Discounted Markov Decision Processes” (*Skripsi*). Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Kurniawan, F. 2013. *Manajemen Perawatan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Mobley, R. Keith, 2008. *Maintenance Engineering Handbook (Seventh Edition)*, New York : McGraw-Hill.
- Siswanto, 2007. *Operation Research*. Erlangga. Jakarta.
- Taha HA. 2011. *Operations Research An Introduction*. Volume ke-9. New York (US): Macmillan Publishing Company.
- Taha A. 1996. *Riset Operasi Suatu Pengantar” Jilid 1*. Bina Rupa Aksara. Jakarta.
- Wijaya A. 2012. *Pengantar Riset Operasi Edisi 2*. Mitra Wicana Media. Jakarta.
- Zainut A. 2015. Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi Percetakan dengan Metode Markov Chain di CV Dunia Printing” (*Skripsi*). Yogyakarta. Universitas Islam Sunan Kalijaga.