



PROSIDING  
**SEMINAR NASIONAL  
MESIN DAN INDUSTRI  
(SNMI4) 2008**

**Auditorium Gedung Utama  
Universitas Tarumanagara  
28 Agustus 2008**

**RISET APLIKATIF  
BIDANG TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI**



**Diselenggarakan oleh :  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Tarumanagara  
Jakarta**

41. Geometry Selection of Orthodontic Retraction Spring Through Knowledge-Based Design, *Bagus Bhirawa Putra* 277
42. Sintesa Kinematika Mekanisme Pemegang Torch Pada Proses Pengelasan Kontinyu Dalam Rancang Bangun Mesin Las Mig (Metal Inert Gas) Untuk Pembuatan Pedal Rem Sepeda Motor, *Sugiharto, F. Rizayana, Ms. Permana, G. Santoso, Brm. D. Widodo, Budiyan* 289
43. Rancang Bangun Sistem Pembersih-Pengisian Galon Air Mium Isi U'ang Berbasis Mikrokontroler AT89S51, *Aminuddin, Achmad Bachris Sati.* 301
44. Analisis Pengaruh Kondisi Pemotongan Pada Mesin Bubut Terhadap Amplitudo Getaran Pahat dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja, *Viktus Kolo Koten* 309
45. Model Optimasi Perawatan Pahat Dengan Mempertimbangkan Laju Keausan Pahat, *Hendro Prassetiyo, Fifi Herni, Nurrahmah* 311
46. Usulan Perbaikan Proses Produksi Untuk Mengurangi Cacat Produksi Pada Proses Bending I, *Erry Adesta, Delvis Agusman, Rudy Susanto* 325
47. Teknologi Pembuatan Aerosol Containers dari Bahan Baja Lembaran/Tinplate, *Rahman Sujud* 337
- 341
- Makalah Bidang Teknik Industri**
48. Model Sistem Pengendalian Persediaan Dua Eselon Multi Komponen Dependent Berdasarkan Jadwal Penggantian Komponen, *Hendro Prassetiyo, Fifi Herni, Wulansari* 355
49. Penentuan Lokasi Cabang Baru Lembaga Bahasa Inggris XYZ Dengan Pendekatan Brown - Gibson, *Ronald Sukwadi, Trifenaus Prabu Hidayat* 363
50. Perancangan Tata Letak Sel Berbentuk Spine Dengan Mempertimbangkan Kriteria Majemuk, *Trifenaus Prabu Hidayat, Ronald Sukwadi* 373
51. Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Sumber Daya Manusia Berbasis Balanced Scorecard Sebagai Upaya Untuk Mengendalikan, Mengevaluasi, dan Meningkatkan Kinerja Karyawan Di PT. Tactic Communication Representative Surabaya, *Hj. C. Nuraini, IB. Suardika* 381
52. Usulan Perbaikan Tata Letak Bagian Pengepakan PT X, *Lina Gozali, Luluo Widodo, Charles Astra Prawira, Stevane Fath'in* 387
53. Studi Kelayakan Proyek Industri Tas Jinjing Multihandling, Lamto Widodo, *Lina Gozali, Irene, Benny, Fredy Lastrio* 397
54. Usulan Penjadwalan Produksi Flowshop Dengan Menggunakan Pendekatan Algoritma Genetika (Studi Kasus Di PT.X, Bandung), *Ariyani, Karika Suhada, Santoso* 407
55. Analisis Penerapan Sistem Kanban Dengan Menggunakan Studi Simulasi ( Studi Kasus Di PT. "X", Jakarta ), *Victor Suhandi, Santoso, Vivien Chandra* 417
56. Analisis Penerapan Teory Of Constraint Dalam Meminimasi Persediaan Melalui Studi Simulasi (Studi Kasus Di PT. Sinar Terang Logamjaya (Stallion). *Victor Suhandi, Santoso, Limia Verlina* 425
57. Penerapan Analisis Kano Pada PT United Waru Biscuit Manufactory, Sidoarjo, *Monique Tandjung, Bambang Tjitro S., Muhammad Rosiawan* 433
58. Usulan Pengendalian Persediaan Untuk Produk Oli Dengan Menggunakan Metode Distribution Resource Planning (DRP) di PT.X-Bandung, *Ferry, Kartika Suhada, Santoso* 443
59. Analisa Efisiensi Relatif Pada Perusahaan Keramik Dengan Data Envelopment Analysis, *Moses L. Singgih* 453
60. Model Optimisasi Ukuran Lot Produksi Pada Sistem Produksi Yang Tidak Sempurna Dengan Kriteria Minimasi Total Ongkos, *Arie Desrianty, Fifi Herni M,*

<b><i>Astri Martiarini Kedarisman</i></b>	459
51. Simulasi Biomekanik Untuk Menentukan Sikap Kerja Yang Ergonomis di CV. Penataran Blitar. <i>Hj. C. Nuraini, JR. Hiksa Galuh W.</i>	469
52. Analisa Kepuasan Kerja Dan Keinginan Keluar Karyawan, <i>Marsellinus Bachtiar</i>	473
53. Aspek-Aspek Antropometri Dalam Perancangan Kursi dan Meja Sekolah Untuk Anak-Anak Sekolah Dasar, <i>Yanto</i>	481
54. Penelitian-Penelitian Antropometri Berdasarkan Metode Pengukuran: Metode Pengukuran Konvensional dan Modern, <i>Yanto</i>	487
55. Pengukuran Waktu Standar Kerja Untuk Proses Administrasi, <i>Khomeni Suntoso</i>	493
66. Analisis Perbaikan Kondisi Kerja Operator Mesin Hopper (Studi Kasus Pt X Di Jakarta), <i>Anggara Hayun Anujuprana</i>	499
57. Perancangan Sistem Pengukuran Digital Untuk Antropometri Tangan Menggunakan Teknologi Image Processing, <i>Muhammad Arya Riski, Dyah Santhi Dewi, Adithya Sudiarno</i>	511
68. Perancangan Stasiun Kerja Dan Durasi Kerja Berdasarkan Penilaian Job Strain Index (Studi Kasus Di PT. Kayo Surya Utama), <i>Arie Desrianty, Caecilia Sri W. Dan Ari Rahman</i>	519
69. Analisis Konsep Ergonomi Total Pada Perancangan Sistem Kerja Dalam Upaya Peningkatan Produktivitas Perusahaan, <i>Rida Tri Susanto, Sritomo Wignjosoebroto Dan Adithya Suliarno</i>	529
70. Gambaran Dan Usulan Perbaikan Kondisi Fasilitas Bus & Halte Bus Way Trans Jakarta, <i>Ahmad</i>	537
71. Analisa Bullwhip Effect Dengan Metode Centralized Demand Information Dalam Supply Chain Management Pada PT. Pesona Ramaja Malang, <i>Hj. C. Nuraini dan I Ketut Arcana</i>	541
72. Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Brand Equity Dan Customer Equity Pada Merek Oli Top One di Tuban, <i>Ronald Louis Indrajaya, Bambang Tjitro S. dan Ananiascri</i>	549
73. Perbandingan Rencana Penerimaan Dalam Pengendalian Kualitas Produk, <i>Marsellinus Bachtiar</i>	565
74. Kajian Penerapan Six Sigma Finished Goods Part Wheel Di PT. X, <i>Roseni Mulyani, Achmad Husen, A. Amaningsih Junihur</i>	573
75. Aplikasi Metode Response Surface Dan Reabilitas Dalam Optimalisasi Kualitas Baret Pada PT. X, <i>Lithrone Laricha, Mogo Nalawira Kelana, Williem</i>	583
76. Kajian Sistem Informasi Rumah Sakit XYZ, <i>Dewa Ayu Putu Hapsari Utami</i>	591
77. Kajian Ergonomi Warung Makan di Samping kampus I Untar, <i>I Wayan Sukania</i>	595
78. Peningkatan kualitas jasa perhotelan dengan metode return on quality (studi kasus: hotel x, Surabaya), <i>Moses L Stunggil</i>	599
79. Analisis Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Pelanggan Menggunakan Metode Servqual Dan Model Kano's Yang Diintegrasikan Dengan Quality Function Deployment (QFD) Pada PT.X, <i>Anggara Hayun Anujuprana</i>	609
80. Analisis Biaya Kualitas Untuk Efisiensi Biaya Pada Pembuatan Ultra Milk Chocolate (Studi Kasus Di PT. Ultrajaya Milk Industry & Trading Company, Tbk.), <i>Arie Desrianty, Ambar Harsono, Asti Astari Putri Eddyat Iyaa</i>	617
81. Penentuan Rute Pada Rantai Supply Produk Sayur Dan Buahke Pelanggan Untuk Meminimalkan Biaya Transportasi Dengan Metode Saving Matriks Di PT. Rodeo, <i>Nelly Budiharti, Emmalia Adriantantri</i>	627
82. Penentuan Distribusi Semen Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Integer Transportation Problem Di Pt. Semen Gresik, <i>Nelly Budiharti, Emmalia Adriantantri</i>	635
83. Aplikasi Metode Quality Function Deployment (Qfd) Dalam Usaha Memenuhi	

**MODEL OPTIMASI PERAWATAN PAHAT  
DENGAN MEMPERTIMBANGKAN LAJU KEAUSAN PAHAT**
**Hendro Prasetyo, Fifi Herni dan Nurrachmah**

Jurusan Teknik dan Manajemen Industri Institut Teknologi Nasional

Jl. PHH Mustafa No. 23 Bandung

e-mail: hprasetyo@itenas.ac.id, hprissetiyo@yahoo.com

**Abstrak**

Mutu proses produksi akan terlihat apabila spesifikasi produk yang diinginkan dapat terpenuhi. Permasalahan pada proses produksi dapat timbul akibat dari fungsi mesin yang terdapat pada industri di suatu perusahaan. Mesin dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan apabila mesin tersebut dapat berfungsi dengan baik. Proses produksi pada mesin dalam suatu perindustrian pada umumnya menggunakan cutting tools. Dalam pengoperasiannya mesin menggunakan cutting tools yang berbeda-beda, tergantung dari jenis produk yang akan dihasilkan. Kondisi dari cutting tools yang digunakan menentukan kualitas dari produk yang dihasilkan. Oleh karena itu perlu dilakukan perawatan cutting tools dalam hal ini berupa pahaat agar produk yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Penelitian ini mengembangkan model penentuan tindakan perawatan terhadap pahaat dengan menggunakan tiga model dasar yaitu 1) Usher, et.al. (1993), pada model ini yang digunakan pada model yang dikembangkan adalah keputusan tindakan perawatan digunakan sebagai dasar penelitian yaitu do nothing merupakan keputusan untuk tetap mempertahankan pahaat sehingga tidak merubah kinerja pahaat yang digunakan, artinya tidak dilakukan tindakan apapun, pahaat meneruskan pengoperasiannya, kemudian tindakan perawatan (maintenance) yang bertujuan untuk menurunkan probabilitas keausan pada pahaat, dalam hal ini dilakukan perawatan terhadap pahaat, artinya aktivitas perawatan dilakukan dengan suatu tindakan perbaikan yang optimum yaitu mengasah pahaat dengan menggunakan mesin gerinda pahaat dan pilihan keputusan yang terakhir yakni melakukan penggantian komponen (replacement) merupakan tindakan penggantian komponen mesin yang menjadi penyebab utama kerusakan, dalam penelitian ini yaitu mengganti pahaat. 2) Model F.W Taylor (1993), pada model ini dikemukakan persamaan umur pahaat dengan menggunakan berbagai kombinasi pahaat dan benda kerja serta dilakukan pada berbagai kondisi pemotongan sehingga akan dihasilkan umur pahaat yang sesuai dengan kondisi pemakaiannya. Pada penelitian ini dalam menentukan laju keausan pahaat digunakan Accelerated Factor untuk mendapatkan laju keausan yang mendekati kondisi nyata pada suatu proses pemesinan. 3) Model Soemadi (2004), pada model ini yang diambil untuk pengembangan model yang dilakukan adalah model programa dinamis probabilistik dengan mempertimbangkan biaya-biaya yang terlibat yaitu biaya keputusan, biaya pengendalian kualitas serta hubungan antara status  $a$ , umur  $x$ , pilihan  $x_1$  dan kontribusi  $x_j$  terhadap total biaya di tahap  $j$ , sehingga didapat tindakan perawatan yang sesuai dengan total biaya perawatan yang minimal.

**Kata kunci:** Cutting tools, maintenance, do nothing, replacement, accelerated factor

**Pendahuluan**

Dalam suatu perindustrian terdapat beberapa faktor yang dapat menentukan keberhasilan pada kualitas benda kerja yang dihasilkan. Salah satu permasalahan pada proses produksi timbul akibat dari fungsi mesin yang terdapat pada industri di suatu perusahaan. Mesin dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan apabila mesin tersebut dapat berfungsi dengan baik. Menurut Rigdon dan Basu (2000) dalam Soemadi (2004), sejalan dengan bertambahnya umur dan pemakaian mesin, waktu antara dua kejadian kegagalan cenderung semakin singkat dan mesin tersebut dinyatakan mengalami deteriorasi.

Dalam pengoperasiannya mesin menggunakan cutting tools yang berbeda-beda, tergantung dari jenis produk yang akan dihasilkan. Kondisi dari cutting tools yang digunakan menentukan kualitas dari produk yang dihasilkan. Apabila cutting tools masih dalam batas umur pakai dan melakukan setup yang benar maka akan menghasilkan produk yang sesuai dengan spesifikasi. Oleh karena itu perlu dilakukan perawatan cutting tools dalam hal ini berupa pahaat agar produk yang dihasilkan memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Semakin lama pahaat digunakan, laju keausannya pun semakin tinggi. Hal ini mengakibatkan timbulnya keausan kawah dan keausan tepi pada pahaat yang digunakan. Keausan merupakan faktor yang menentukan umur pahaat (Rochim, 1993). Semakin besar keausan yang terjadi pada pahaat maka kondisi pahaat akan semakin kritis. Apabila pahaat tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan ujung pahaat akan mengalami rusak total. Kerusakan fatal seperti ini tidak boleh terjadi sebab gaya pemotongan akan sangat

tinggi sehingga dapat merusakkan seluruh pahat, mesin perkakas, dan benda kerja, serta dapat membahayakan operator yang bekerja pada mesin tersebut (Rohim, 1993).

Kinerja pahat dapat dipertahankan dengan melakukan tindakan perawatan pencegahan yang berupa pemeriksaan, perawatan (pengasahan pahat) atau penggantian pahat. Permasalahan yang timbul adalah bagaimana menentukan tindakan yang tepat terhadap pahat sebab dalam kondisi nyata, keberhasilan suatu produk dipengaruhi juga oleh kondisi pahat yang digunakan. Pada suatu proses pemesinan dengan kondisi yang sebenarnya dalam dunia perindustrian, parameter-parameter yang digunakan oleh mesin tidak selalu sama. Hal tersebut mempengaruhi laju keausan pahat. Apabila parameter yang digunakan melebihi batasnya maka laju keausan pun semakin tinggi. Oleh karena itu diperlukan suatu model *Accelerated Life Test* yang dapat mengakomodir keadaan tersebut dengan mempertimbangkan laju keausan pahat.

Dalam penelitian ini laju kerusakan pahat dipengaruhi oleh kecepatan potong, kedalaman potong dan gerak makan. Produk yang dihasilkan dari kegiatan produksi suatu mesin akan tidak optimal apabila pahat yang digunakan mengalami keausan dan selang kerusakan yang terjadi bersifat probabilistik. Oleh karena itu dibutuhkan suatu model optimisasi perawatan pahat dengan mempertimbangkan laju kerusakan yang terjadi pada pahat tersebut.

Pengembangan model yang digunakan pada penelitian ini adalah model perawatan pahat oleh: (1) pendekatan Usher, et.al., (1998) dengan mempertimbangkan tiga pilihan keputusan di setiap titik inspeksi  $j$ , yakni tindakan mempertahankan pahat (*Do Nothing*), tindakan perawatan terhadap pahat (*Maintenance*), atau tindakan penggantian pahat (*Replacement*), (2) pendekatan Taylor (1993) dalam menentukan umur pahat yang dimodifikasi dengan menggunakan *Accelerated Life Test*, (3) pendekatan Soemadi (2004) dalam menentukan solusi optimal dengan menggunakan prosedur pemrograman dinamis.

### Pendekatan Pengembangan Model

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah menghasilkan model matematis kebijakan perawatan dengan mempertimbangkan laju kerusakan pahat dengan menggunakan metoda optimasi program dinamis probabilistik. Pengembangan model perawatan ini didasari konsep awal dari:

1. Usher, et.al., (1998)
2. Soemadi (2004)

Peta posisi penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Peta Posisi Penelitian

Keterangan	Usher et. al, (1998)	Soemadi (2004)	Penelitian
Pendekatan	Diskrit	Diskrit	Diskrit
Metode Solusi	<i>Random Search, Algorithm Genetic, Branch and Bound</i>	Pemrograman Dinamis	Pemrograman Dinamis
Variabel Keputusan	<i>Do Nothing, Maintenance, Replacement</i>	Tetap mempertahankan mesin, Mengganti mesin	<i>Do Nothing, Maintenance, Replacement</i>
<i>Accelerated Factor</i>	Tidak dipertimbangkan	Tidak dipertimbangkan	Dipertimbangkan

Dalam penelitian ini permasalahan perawatan yang dihadapi merupakan masalah yang bersifat probabilistik. Perawatan pahat perlu dilakukan untuk menjaga kualitas hasil pemotongan benda kerja. Maka perlu diketahui jadwal kapan pahat tersebut perlu dirawat atau sudah harus diganti. Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh pemakaian pahat terhadap jenis material benda kerja yang digunakan. Oleh sebab itu dibutuhkan suatu model optimisasi yang dapat mengintegrasikan kegiatan produksi, perawatan dan jenis material benda kerja yang digunakan. Solusi optimal diselesaikan menggunakan prosedur optimisasi pemrograman dinamis probabilistik.

### Karakteristik Sistem Pengembangan Model

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan model matematis kebijakan perawatan pahat menggunakan program dinamis dengan mempertimbangkan laju keausan pahat yang digunakan. Notasi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- $T$  : panjang siklus produksi
- $N$  : jumlah titik inspeksi selama satu siklus produksi
- $s$  : selang waktu antar inspeksi ( $s = T/N$ )
- $j$  : titik inspeksi ( $j = 1, \dots, N$ )
- $t_{no}$  : umur pahat dibawah kondisi pemakaian secara normal.

- $t_{oc}$  : umur pahat dibawah kondisi pemakaian secara terakselerasi.  
 $t$  : umur pahat di suatu  $j$  ( $0, \dots, j_s$ )  
 $x_j$  : keputusan yang dipilih pada suatu  $j$  ( $x_j = DN, M, \text{ atau } R$ )  
 $DN$  : meneruskan pengoperasian pahat di  $j$   
 $M$  : melakukan perawatan terhadap pahat di  $j$   
 $R$  : melakukan tindakan penggantian pahat di  $j$   
 $\lambda(t)$  : laju keausan pahat berumur  $t$   
 $f_{ac}(t)$  : probabilitas keausan pahat yang berumur  $t$   
 $1-f_{ac}(t)$  : probabilitas pahat dalam keadaan baik yang berumur  $t$   
 $\theta_{no}$  : parameter skala untuk distribusi Weibull pada kondisi pemakaian secara normal  
 $\theta_{ac}$  : parameter skala untuk distribusi Weibull pada kondisi pemakaian secara terakselerasi  
 $\gamma_{no}$  : parameter bentuk untuk distribusi Weibull pada kondisi pemakaian secara normal  
 $\gamma_{ac}$  : parameter bentuk untuk distribusi Weibull pada kondisi pemakaian secara terakselerasi  
 $\lambda_{ac}(t)$  : fungsi laju keausan pada kondisi yang terakselerasi.  
 $A$  : faktor akselerasi.  
 $C_T$  : konstanta Taylor  
 $VB$  : keausan tepi yang dianggap sebagai batas saat berakhirnya umur pahat; mm (0,3 s.d. 1 mm).  
 $M$  : konstanta, pangkat untuk batas keausan. Tergantung pada kualitas pahat serta jenis dan kondisi benda kerja ( $m = 0,4$  s.d.  $0,5$ ; rata-rata =  $0,45$ ).  
 $h$  : tebal geram sebelum terpotong.  
 $P$  : konstanta, pangkat untuk tebal geram sebelum terpotong.  
 $b$  : lebar pemotongan ; mm.  
 $q$  : konstanta, pangkat bagi lebar pemotongan ( $0,05$  s.d.  $0,13$ ).  
 $C_{TVN}$  : kecepatan potong ekstrapolatif (m/min).  
 $n$  : konstanta, harga spesifik bagi suatu kombinasi pahat dengan benda kerja. (kombinasi pahat HSS dengan Material St.37 =  $0,167$ )  
 $v_{no}$  : kecepatan potong pada kondisi pemakaian secara normal; m/min  
 $v_{ac}$  : kecepatan potong ; pada kondisi pemakaian secara terakselerasi; m/min  
 $f_{no}$  : gerak makan pada kondisi pemakaian secara normal; mm/r  
 $f_{ac}$  : gerak makan pada kondisi pemakaian secara terakselerasi; mm/r  
 $a_{no}$  : kedalaman potong pada kondisi pemakaian secara normal; mm  
 $a_{ac}$  : kedalaman potong pada kondisi pemakaian secara terakselerasi; mm  
 $a$  : konstanta, pangkat gerak makan  $\approx 0,77$  (rata-rata untuk berbagai kombinasi pahat dan benda kerja)  
 $\kappa_r$  : Sudut potong utama;  $^\circ$   
 $\epsilon$  : *improvement factor*  
 $C_1$  : biaya keputusan *do nothing*  
 $C_2$  : biaya keputusan *maintenance* (pengasahan pahat)  
 $C_3$  : biaya keputusan *replacement*  
 $C_4$  : biaya inspeksi  
 $C_5$  : biaya kerugian  
 $c_r$  : biaya penyiapan dan peralatan  
 $c_m$  : biaya material benda kerja  
 $c_p$  : biaya pemesinan  
 $c_o$  : biaya operator

Model dasar yang dikembangkan menggunakan pendekatan Usher et.al., (1998) dengan mempertimbangkan tiga pilihan keputusan di setiap titik inspeksi  $j$ , yakni *Do Nothing* ( $x_j = DN$ ), *Maintenance* ( $x_j = M$ ), atau *Replacement* ( $x_j = R$ ) dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Bila keputusan di  $j$  adalah  $x_j = DN$  maka umur komponen di  $j+1$  menjadi  $(t+s)$ . Keputusan tetap mempertahankan pahat ini tidak merubah kinerja pahat yang digunakan, artinya tidak dilakukan tindakan apapun, pahat meneruskan pengoperasiannya.
2. Bila keputusan di  $j$  adalah  $x_j = M$  maka umur komponen di  $j+1$  menjadi  $[t + (s.\epsilon)]$ . Keputusan *maintenance* bertujuan untuk menurunkan probabilitas keausan pada pahat, dalam hal ini dilakukan perawatan terhadap pahat, artinya aktivitas perawatan dilakukan dengan suatu tindakan perbaikan yang optimum yaitu mengasah pahat dengan menggunakan mesin gerinda pahat.
3. Bila keputusan di  $j$  adalah  $x_j = R$  ( $t=0$ ) maka umur komponen di  $j+1$  menjadi  $(t=s)$ . Keputusan *replacement* merupakan tindakan penggantian komponen mesin yang menjadi penyebab utama kerusakan, dalam penelitian ini yaitu mengganti pahat.

Pada penelitian ini permasalahan diselesaikan dengan menggunakan pendekatan Soemadi (2004), yakni menggunakan metode pemrograman dinamis untuk mendapatkan kebijakan optimal pada setiap tahap dengan status yang terjadi. Variabel keputusan adalah menentukan tindakan yang akan dilakukan terhadap pahat, yang meliputi tindakan *do nothing*, *maintenance* atau *replacement*.

**Formulasi Model**

Penentuan solusi optimal perawatan pahat untuk mesin bubut dengan mempertimbangkan laju keausan pahat dapat diketahui melalui perhitungan dengan menggunakan model optimisasi. Persoalan penentuan solusi optimal tersebut di formulasikan ke dalam bentuk pemrograman dinamis probabilistik dengan parameter-parameter sebagai berikut:

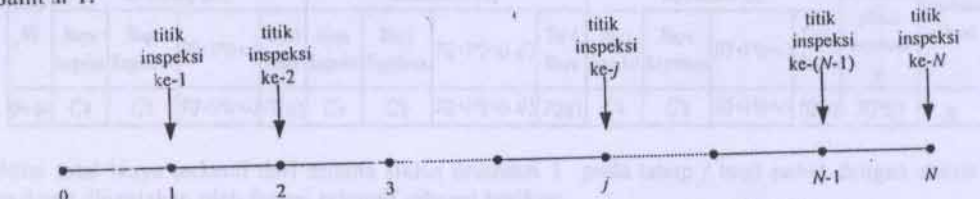
**1. Variabel Keputusan**

Variabel keputusan pada penelitian ini yaitu menentukan tindakan terhadap pahat pada setiap akhir periode  $j, j=0, 1, \dots, N$ . Pada setiap akhir periode  $j, j=0, 1, \dots, N$  terdapat tiga pilihan keputusan, yaitu  $DN, M$ , atau  $R$ . Urutan tindakan di  $j, j=0, 1, \dots, N$  dipilih untuk meminimalkan ekspektasi total ongkos selama  $T$ . Dengan demikian variabel keputusan  $x_j$  dinyatakan sebagai:

$$x_j = \begin{cases} DN, \text{ meneruskan operasi pahat di } j \\ M, \text{ merawat pahat di } j \\ R, \text{ mengganti pahat di } j \end{cases} \quad (1)$$

**2. Tahap**

Tiga pilihan keputusan yakni *Do Nothing*, *Maintenance*, atau *Replacement* secara berulang di setiap akhir periode titik inspeksi  $j, j=0, 1, \dots, N$ . Oleh karena itu titik pengambilan keputusan di  $j$  dinyatakan sebagai tahap pengambilan keputusan. Banyaknya tahap berdasarkan panjang siklus produksi  $T$  yang dibagi dengan  $N$  buah titik inspeksi selama siklus produksi sehingga dihasilkan selang waktu antara inspeksi  $s$  dengan lama waktu yang sama,  $s = T/N$ . Berdasarkan pernyataan tersebut maka terdapat  $j$  buah titik inspeksi,  $j=1, 2, \dots, N$  yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Titik Inspeksi  $j$  Pada Suatu Siklus Produksi  $N$

**3. Status**

Keputusan yang dipilih di setiap akhir periode  $j$  dipengaruhi oleh kondisi pahat. Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa produk yang cacat akibat dari keausan pahat. Kondisi tersebut dinyatakan sebagai status umur pahat  $t$ .

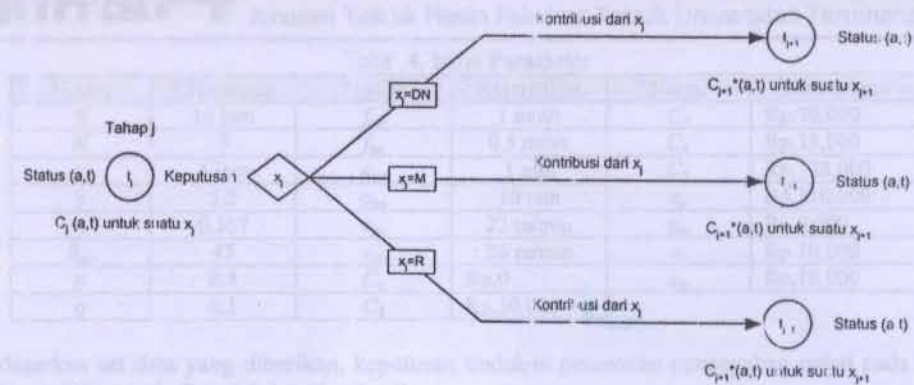
Pemilihan keputusan pada setiap akhir periode  $j$  akan mempengaruhi umur pahat di tahap  $j+1$ . Pada awal tahap produksi, tahap  $j=0$ , kondisi pahat dalam keadaan baru sehingga umur pahat  $t=0$ , kemudian tindakan  $DN, M$  atau  $R$  dapat dilakukan pada suatu  $j \geq 1, j=1, \dots, N$  pada satu titik inspeksi yang terpisah oleh selang waktu  $s$ . Oleh karena itu umur pahat  $t$  di setiap tahap  $j, j \geq 1$ , dapat direpresentasikan oleh  $0 < t \leq js$ . Maka besarnya umur yang harus dipertimbangkan pada saat pengambilan keputusan di setiap tahap  $j$  adalah terbatas, yaitu kurang atau sama dengan  $js$ .

Terminologi status dalam formulasi pemrograman dinamis ini dinyatakan oleh status umur ( $t$ ). Tabel 2 menyatakan tiga pilihan keputusan di suatu tahap  $j$  dengan status umur ( $t$ ).

Tabel 2. Status dan Variabel Keputusan di Tahap  $j$

Umur $t$	Pilihan Keputusan $x_j, 1 \leq j \leq N$
$0 < t \leq js$	<i>Do Nothing, Maintenance, atau Replacement</i>

Hubungan antara status di tahap  $j$ , keputusan  $x_j$ , dan status di tahap  $j+1$  dengan menggunakan pemrograman dinamis probabilistik dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Antara Status di Tahap  $j$ , Keputusan  $x_j$ , dan Status di Tahap  $j+1$

Total biaya selama siklus produksi (0, T) terdiri dari biaya keputusan (DN, M, atau R), biaya pengendalian kualitas yang meliputi biaya inspeksi, biaya kerugian akibat kegagalan produksi meliputi biaya penyiapan & peralatan, biaya pemesanan, biaya material benda kerja dan biaya operator dari tahap  $j=0$  hingga  $j=N$ . Total biaya dengan menggunakan prosedur optimasi pada titik  $j$  dapat didefinisikan sebagai berikut:

$TC_j(t)$  : total biaya pada tahap  $j$  dan status (t) (dari tahap  $j$  hingga tahap N)

$TC_j^*(t)$  : total biaya terkecil pada tahap  $j$  dan status (t) (dari tahap  $j+1$  hingga tahap N)

Pada penelitian ini hubungan antara biaya-biaya yang terkait dengan status dan variabel keputusan di setiap tahap  $j=1$  hingga  $j=N-1$  dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan Antara Variabel Keputusan  $x_j$  dan Status  $t$  Terhadap Total Biaya di Tahap  $j$

status (t)	Pilihan Keputusan $x_j, 1 \leq j < N$											Biaya terkecil dari pilihan keputusan $x_j$	Keputusan optimal	
	Do Nothing (DN)				Maintenance (M)				Replacement (R)					
	Biaya Inspeksi	Biaya Keputusan	$TC_{j+1}^*(t+s)$	Total Biaya	Biaya Inspeksi	Biaya Keputusan	$TC_{j+1}^*(t+s, s)$	Total Biaya	Biaya Inspeksi	Biaya Keputusan	$TC_{j+1}^*(t=s)$			Total Biaya
0 < t < s	$C_4$	$C_1$	$TC_{j+1}^*(t+s)$	$TC_j(t)$	$C_4$	$C_2$	$TC_{j+1}^*(t+s, s)$	$TC_j(t)$	$C_4$	$C_3$	$TC_{j+1}^*(t=s)$	$TC_j(t)$	$TC_j^*(t)$	$x_j$

Nilai total biaya terkecil dari selama siklus produksi T pada tahap  $j$  bagi pahat dengan status umur (t) sehingga dapat dinyatakan oleh fungsi rekursif sebagai berikut:

$$TC_j^*(t) = \min \begin{cases} x_j = DN : C_1 + C_4 + \left[ (f_{ac}(t_{ac})) (C_3 + C_5 + TC_{j+1}^*) + (1 - f_{ac}(t_{ac})) (TC_{j+1}^*) \right] (t+s) \\ x_j = M : C_2 + C_4 + \left[ (f_{ac}(t_{ac})) (C_3 + C_5 + TC_{j+1}^*) + (1 - f_{ac}(t_{ac})) (TC_{j+1}^*) \right] (t+s) \\ x_j = R : C_3 + C_4 + \left[ (f_{ac}(t_{ac})) (C_3 + C_5 + TC_{j+1}^*) + (1 - f_{ac}(t_{ac})) (TC_{j+1}^*) \right] (t=s) \end{cases} \quad (2)$$

Penodelan laju keausan pahat dan probabilitas keausan pahat dirumuskan oleh persamaan (3) dan (4).

$$\lambda_{ac}(t) = \left( \frac{\gamma \cdot t^{\gamma-1}}{\theta^\gamma} \right) \left( \frac{(f_{ac})^p \cdot (a_{ac})^q \cdot v_{ac}}{(f_{no})^p \cdot (a_{no})^q \cdot v_{no}} \right)^{\frac{\gamma_{ac}}{n}} \quad (3)$$

$$f_{ac}(t_{ac}) = \left( \frac{(f_{ac})^p \cdot (a_{ac})^q \cdot v_{ac}}{(f_{no})^p \cdot (a_{no})^q \cdot v_{no}} \right)^{\frac{1}{n}} \left[ \frac{\gamma}{\theta_{ac}} \left( \frac{(f_{ac})^p \cdot (a_{ac})^q \cdot v_{ac}}{(f_{no})^p \cdot (a_{no})^q \cdot v_{no}} \right)^{\frac{1}{n}} \right]^{\gamma-1} \cdot \exp \left[ - \left( \frac{(f_{ac})^p \cdot (a_{ac})^q \cdot v_{ac}}{(f_{no})^p \cdot (a_{no})^q \cdot v_{no}} \right)^{\frac{1}{n}} \right]^\gamma \quad (4)$$

**Pengujian Model**

Untuk melakukan perhitungan model perawatan ini maka diperlukan nilai-nilai parameter yang dapat dilihat pada Tabel 4.



Tabel 4. Nilai Parameter

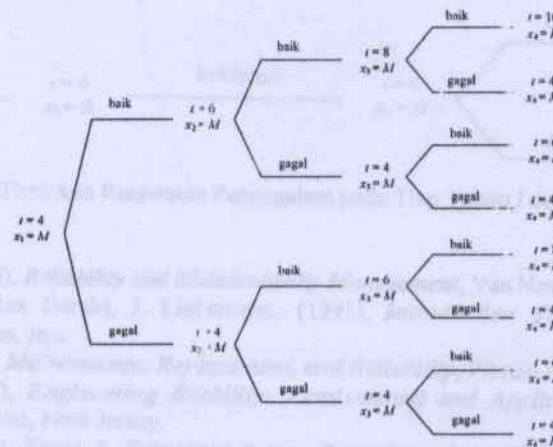
Notasi	Keterangan	Notasi	Keterangan	Notasi	Keterangan
$T$	16 jam	$f_{ac}$	1 mm/r	$C_3$	Rp.70,000
$N$	5	$f_{no}$	0.5 mm/r	$C_4$	Rp.15,000
$s$	4 jam	$a_{ac}$	1 mm	$C_5$	Rp.128,000
$\gamma$	5.5	$a_{no}$	10 mm	$c_p$	Rp.110,000
$n$	0.167	$v_{no}$	22 m/min	$c_m$	Rp.8,000
$\theta_{ac}$	45	$v_{a}$	26 m/min	$c_r$	Rp.10,000
$p$	0.4	$C_1$	Rp.0	$c_o$	Rp.10,000
$q$	0.1	$C_2$	Rp.10,000		

Berdasarkan set data yang diberikan, keputusan tindakan perawatan pencegahan pahat pada setiap tahap inspeksi  $j$  dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Total Ongkos

status (j)	Do Nothing (DN)			Maintenance (M)			Replacement (R)			Biaya terkecil dari pilihan keputusan sj	Keputusan optimal			
	Biaya Inspeksi	Biaya Keputusan	$C_j \cdot 1^{(j+s)}$	Biaya Inspeksi	Biaya Kaputusan	$C_j \cdot 1^{(j+s)}$	Total Biaya	Biaya Inspeksi	Biaya Kaputusan			$C_j \cdot 1^{(j+s)}$		
4	15000	0	239097,4	254097,360	15000	10000,00	199975,2	224975,153	15000	70000	155856,5	225856,521	224975,153	M
6	15000	0	211228,7	226228,737	15000	10000,00	171978,8	196978,843	15000	70000	127786,1	197786,092	196978,843	M
8	15000	0	213137,9	228137,855	15000	10000,00	211228,7	236228,737	15000	70000	161544,1	231544,887	228137,855	DN
10	15000	0	174066,7	189066,720	15000	10000,00	171388,8	196388,832	15000	70000	100718,7	185718,656	185718,656	R
12	15000	0	127286,0	142285,952	15000	10000,00	174066,7	199066,720	15000	70000	100718,7	185718,656	142285,952	DN

$j=1$                            $j=2$                            $j=3$                            $j=4$



Gambar 3. Diagram Tindakan Perawatan Pencegahan pada Tiap Tahap  $j$  (Input Data 1)

**Analisis Sensitivitas Model**

Setelah pengujian dilakukan kemudian model tersebut dilakukan analisis sensitivitas pada parameter yang diuji dan solusi optimal yang telah didapatkan sebelumnya.

**1. Perubahan Parameter Skala**

Pengujian sensitivitas pada parameter  $\theta_{ac}$  dilakukan dengan menaikkan nilai  $\theta_{ac}$  sebesar 0,1 pada set nilai parameter. Total biaya yang dihasilkan dari perubahan nilai  $\theta_{ac}$  yaitu sebesar Rp 201.699,134 dengan keputusan tindakan perawatan pencegahan pahat pada setiap tahap inspeksi  $j$  dapat dilihat pada Gambar 4.

2. Perubahan Parameter  $v_{ac}$

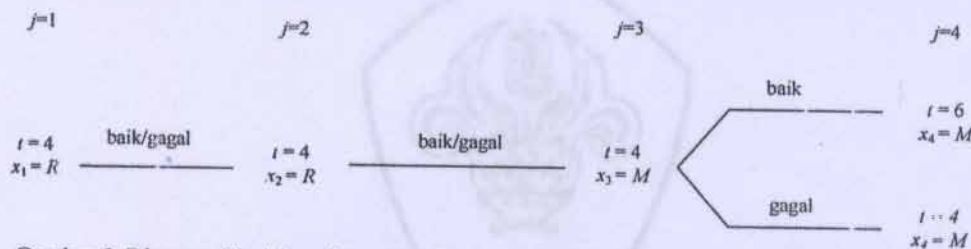
Pengujian sensitivitas pada parameter  $v_{ac}$  dilakukan dengan menaikkan nilai  $v_{ac}$  sebesar 0,01 pada set nilai parameter. Total yang dihasilkan dari perubahan nilai  $v_{ac}$  adalah sebesar Rp. 256.576,096 dengan keputusan tindakan perawatan pencegahan pahat pada setiap tahap inspeksi  $j$  dapat dilihat pada Gambar 5.

Kesimpulan

1. Pada penelitian ini dihasilkan suatu model optimisasi perawatan pahat dengan mempertimbangkan laju keausan pahat.
2. Perubahan parameter skala distribusi Weibull ( $\theta_{ac}$ ) apabila nilainya dinaikkan sebesar 10% maka akan menyebabkan perubahan keputusan yang semula *maintenance-maintenance* menjadi *maintenance-replace*.
3. Perubahan parameter kecepatan potong yang digunakan dibawah kondisi terakselerasi ( $v_{ac}$ ) apabila nilainya dinaikkan sebesar 10% maka akan menyebabkan perubahan keputusan yang semula *maintenance-maintenance* menjadi *replace-replace*.



Gambar 4. Diagram Tindakan Perawatan Pencegahan pada Tiap Tahap  $j$  dengan kenaikan parameter  $\theta_{ac}$



Gambar 5. Diagram Tindakan Perawatan Pencegahan pada Tiap Tahap  $j$  dengan kenaikan nilai  $v_{ac}$

Daftar Pustaka

1. Dhillon, Balbir. S., (1980), *Reliability and Maintainability Management*, Van Nostrand Reinhold Co, New York.
2. Hillier, Frederick S. dan Gerald, J. Lieberman., (1995), *Introduction To Operations Research*, The McGraw-Hill Companies, Inc.
3. Jardine, A.K.S., (1973), *Maintenance, Replacement, and Reliability*, Pitman Publishing, London.
4. Ramakumar. R., (1993), *Engineering Reability: Fundamental and Application*, A. Simon & Schuster Company Engliwood Cliss, New Jersey.
5. Rochim, Taufiq, (1993), *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*, Lab. Teknik Produksi, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITB.
6. Soemadi, K., (2004), *Model Penggantian Optimal Untuk Mesin Feparabe Bergaransi Dengan Pemrograman Dinamis*, Disertasi S-3 Departemen Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
7. Supandi., (1988), *Manajemen Perawatan Industri*, Penerbit Ganeca Exact, Bandung
8. Taha, Hamdy. A., (1996), *Riset Operasi*, J.lid 1, Penerbit Binarupa Aksara.
9. Usher, J.S., Kamal, A.H., Syed, W.H., (1998), Cost Optimal Preventive Maintenance and Replacement Scheduling, *IIE Transactions*, 30, 1121-1128.