

LAPORAN TUGAS AKHIR
PERHITUNGAN KEAUSAN *PIN* PADA SISTEM KONTAK *SLIDING*
PIN-ON-DISC MENGGUNAKAN METODE ANALITIK DAN
METODE ELEMEN HINGGA

Diajukan Sebagai Salah Satu Tugas dan Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana (S-1)



Disusun oleh:
EKO SAPUTRA
L2E 307 017

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG

2010

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Eko Saputra

NIM : L2E 307 017

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

Jangka Waktu : 11 (Sebelas) bulan

Judul : **Perhitungan Keausan *Pin* pada Sistem Kontak *sliding Pin-On-Disc* Menggunakan Metode Analitik dan Metode Elemen Hingga**

Isi Tugas :

1. Analisa laju keausan yang terjadi pada simulasi kontak *sliding* antara *Pin* dengan *Disc*.
2. Membandingkan hasil yang diperoleh dengan model lain.

Dosen Pembimbing,

Dr. Jamari, ST, MT
NIP. 197 403 042 000 121 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “ **Perhitungan Keausan *Pin* pada Sistem kontak *Sliding Pin-On-Disc* Menggunakan Metode Analitik dan Metode Elemen Hingga**” telah disetujui pada:

Hari :

Tanggal :

Dosen Pembimbing,

Dr. Jamari, ST, MT

NIP. 197 403 042 000 121 001

Mengetahui,

Koordinator Tugas Sarjana

Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT

NIP. 197 104 211 999 031 003

ABSTRAK

Keausan merupakan salah satu fenomena yang mempunyai peranan penting terhadap umur pemakaian dari komponen permesinan. Keausan, dalam ilmu perancangan teknik, perlu sekali untuk dipertimbangkan karena ada kaitannya dengan hilangnya material. Perancangan teknik yang baik dari komponen permesinan akan mengurangi keausan, mengurangi hilangnya energi, dan memperpanjang umur pemakaian. Sedikitnya ada tiga jenis keausan: *mechanical*, *chemical* dan *thermal*. Sistem kontak *sliding* dalam *Tribometer*, yaitu pengujian “*pin-on-disc*” yang merupakan salah satu contoh jenis keausan mekanik. *Pin-on-disc* adalah salah satu *Tribometer* yang sering digunakan untuk prediksi keausan tetapi diperlukan pengujian, waktu dan biaya yang relatif tidak sedikit. Oleh karena itu, sangat perlu untuk prediksi keausan dengan metode lain, antara lain metode analitik maupun metode elemen hingga.

Prediksi keausan dengan metode analitik menggunakan model keausan Archard, model keausan Sarkar dan *GIWM* (*Global incremental wear model*) oleh Hegadekatte, sedangkan untuk metode elemen hingga menggunakan prediksi keausan Podra dengan model dua dimensi (2D) dan Hegadekatte dengan model tiga dimensi (3D). Pada penelitian ini ditunjukkan hasil perbandingan antara metode analitik dan metode elemen hingga dalam prediksi keausan. Hasil menunjukkan perbandingan *GIWM* Hegadekatte dengan *GIWM Present* terdapat perbedaan rata-rata sekitar 15,36%, perbandingan antara *FEM* Hegadekatte dengan *FEM Present* terdapat perbedaan rata-rata sekitar 2,69% dan perbandingan antara *GIWM Present* dengan *FEM present* terdapat perbedaan rata-rata sekitar 6,58%.

Kata kunci: model keausan, *pin-on-disc*, metode analitik, metode elemen hingga.

ABSTRACT

Wear is one of the phenomena which plays important role in the life time designing of the mechanical component. Wear, in engineering design, should be considered due to its relation in material loss. The better engineering design of the mechanical component will reduce wear, results the lower energy loss, and prolong the component life time. There are three types of wear: mechanical, chemical and thermal. Sliding contact system in tribometer, i.e. pin-on-disc test, is one of the examples of the mechanical wear. Pin-on-disc is one of the most popular tribometer to conduct an experiment in wear prediction but this experimental research requires a large number of experiments, time and costs. Therefore, finite element and analytical solution should be the more commonly used approach to predict the wear behavior of a pair of materials.

The prediction of wear by analytical solution approach has been used by Archard, Sarkar and GIWM (Global incremental wear model) by Hegadekatte, while finite element approach has been studied by Podra for 2D analysis and Hegadekatte for 3D analysis. This research reports the comparison between the analytical and finite element approach in predicting wear. The results show that there is 15.36% deviation between GIWM developed by Hegadekatte and present GIWM developed by the author, 2.69% deviation between FEM developed by Hegadekatte and present FEM developed by the author and 6.58% between present GIWM developed by the author and present FEM developed by the author.

Keywords: wear modeling, pin on disc, analytical model, finite element

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Ibu dan Bapak tercinta yang selalu memberikan do'a serta dukungan baik moral maupun material.
- ❖ Kakak dan Adikku tersayang atas dukungannya.
- ❖ Pak Jamari, Pak Rifki, Pak Tauviq, dan Mba' Nur, terimakasih banyak atas bimbingan dan bantuannya.
- ❖ Teman-teman seperjuangan Lab. EDT (*Engineering Design and Tribology*).
- ❖ Teman-teman Teknik Mesin Ekstensi'07.
- ❖ Semua teman-temanku yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat melewati masa studi dan menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin di Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan, baik moral maupun material. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak dan Ibu yang telah memberikan dorongan, do'a dan semangat.
2. Bapak Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fadjar T.K, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.
3. Dr. Jamari, ST, MT selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
4. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium EDT.
5. Teman-teman Teknik Mesin UNDIP Ekstensi 2007.

Penyusun menyadari bahwa dalam menyusun laporan ini terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan dan kemajuan Penulis dimasa yang akan datang sangat diharapkan. Akhir kata Penulis berharap semoga hasil laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, Maret 2010

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN TUGAS SARJANA | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| HALAMAN ABSTRAK..... | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | vi |
| HALAMAN KATA PENGANTAR..... | vii |
| HALAMAN DAFTAR ISI | viii |
| HALAMAN DAFTAR GAMBAR | xi |
| HALAMAN DAFTAR TABEL..... | xiv |
| NOMENKLATUR | xv |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan penulisan..... | 2 |
| 1.3. Batasan masalah..... | 3 |
| 1.4. Metodologi penelitian | 3 |
| 1.5. Sistematika penulisan..... | 3 |
| | |
| BAB II TEORI KEAUSAN | 5 |
| 2.1. Pengertian keausan..... | 5 |
| 2.2. Jenis-jenis keausan dan penyebabnya | 5 |
| 2.2.1. Keausan yang disebabkan perilaku mekanis..... | 5 |
| 1. <i>Abrasive wear</i> | 5 |
| 2. <i>Adhesive wear</i> | 6 |
| 3. <i>Flow wear</i> | 7 |
| 4. <i>Fatigue wear</i> | 7 |

| | | |
|----------------------------------|--|----|
| 2.2.2. | Keausan yang disebabkan perilaku kimia | 9 |
| 1. | <i>Oxidative wear</i> | 9 |
| 2. | <i>Corrosive wear</i> | 10 |
| 2.2.3. | Keausan yang disebabkan perilaku panas | 10 |
| 1. | <i>Melt wear</i> | 10 |
| 2. | <i>Diffusive wear</i> | 10 |
| BAB III MODEL-MODEL KEAUSAN..... | | 12 |
| 3.1. | Model keausan Archard | 12 |
| 3.2. | Model keausan Sarkar | 14 |
| 3.3. | Metode prediksi keausan Podra | 14 |
| 3.4. | Metode prediksi keausan Hegadekatte..... | 17 |
| 3.4.1. | Metode analitik..... | 17 |
| 3.4.2. | Metode elemen hingga..... | 21 |
| BAB IV PERHITUNGAN KEAUSAN..... | | 22 |
| 4.1 | Metode analitik | 22 |
| 4.1.1 | <i>GIWM</i> model keausan Archard | 22 |
| 4.1.2 | <i>GIWM</i> model keausan Sarkar..... | 24 |
| 4.2 | Metode elemen hingga | 25 |
| 4.2.1 | Teori dasar metode elemen hingga..... | 26 |
| 4.2.2 | Metodologi pemodelan | 28 |
| 4.2.3 | Spesifikasi pemodelan <i>pin-on-disc</i> | 31 |
| 4.2.4 | Menentukan kenaikan jarak <i>sliding</i> (<i>s</i>)..... | 33 |
| 4.2.5 | <i>Updated geometry</i> | 34 |
| 4.2.6 | Prosedur pembuatan model <i>pin-on-disc</i> | 37 |

| | |
|--|--------|
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 51 |
| 5.1 Hasil metode analitik..... | 51 |
| 5.2 Hasil simulasi menggunakan metode elemen hingga | 53 |
| 5.2.1 Verifikasi terhadap hasil perhitungan Hegadekatte..... | 53 |
| 5.2.2 Prediksi keausan pada beban 400 mN | 57 |
| BAB IV PENUTUP | 62 |
| 6.1 Kesimpulan..... | 62 |
| 6.2 Saran..... | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA | 64 |
| LAMPIRAN | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 1.1 | Contoh komponen-komponen permesinan yang saling kontak (a) <i>ball bearing</i> , (b) <i>cam shaft</i> dengan <i>rocker arm</i> | 1 |
| Gambar 1.2 | Permukaan suatu komponen dan <i>asperity</i> | 2 |
| Gambar 2.1 | <i>Abrasive wear</i> oleh <i>microcutting</i> pada permukaan yang lunak..... | 6 |
| Gambar 2.2 | Mekanisme pada <i>abrasive wear</i> : a) <i>microcutting</i> , b) <i>fracture</i> , c) <i>fatigue</i> and d) <i>grain pull-out</i> | 6 |
| Gambar 2.3 | <i>Adhesive wear</i> karena <i>adhesive shear and transfer</i> | 6 |
| Gambar 2.4 | Proses perpindahan logam karena <i>adhesive wear</i> | 7 |
| Gambar 2.5 | <i>Flow wear</i> oleh penumpukan aliran geseran plastis. | 7 |
| Gambar 2.6 | <i>Fatigue wear</i> karena retak di bagian dalam dan merambat..... | 7 |
| Gambar 2.7 | Skema penggambaran proses retak dari awal retak dan merambatnya retak permukaan..... | 8 |
| Gambar 2.8 | Contoh terbentuknya partikel keausan pada aus lelah (<i>fatigue wear</i>)..... | 9 |
| Gambar 2.9 | <i>Corrosive wear</i> karena patah geser pada lapisan lentur..... | 10 |
| Gambar 2.10 | <i>Corrosive wear</i> karena pengelupasan pada lapisan yang rapuh. | 10 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir pendekatan simulasi keausan menggunakan <i>FEM</i> | 15 |
| Gambar 3.2 | (a) Diagram alir <i>GIWM</i> untuk menghitung keausan <i>pin</i> ; (b) penghitungan jari-jari kontak..... | 18 |
| Gambar 4.1 | Ilustrasi perbandingan antara perhitungan yang mempertimbangkan efek deformasi elastis dengan perhitungan tanpa efek deformasi elastis..... | 23 |
| Gambar 4.2 | Permukaan suatu komponen permesinan pada skala nanometer. | 24 |
| Gambar 4.3 | Elemen garis | 27 |
| Gambar 4.4 | Elemen bidang | 28 |
| Gambar 4.5 | Elemen volume | 28 |
| Gambar 4.6 | Diagram alir untuk simulasi keausan <i>FEM</i> | 30 |
| Gambar 4.7 | (a) Model <i>pin-on-disc tribometer</i> pada kontak <i>sliding</i> ; (b) Model elemen hingga dengan geometri yang dipotong setengah..... | 32 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.8 | (a) Model <i>pin-on-disc</i> dengan dimensi yang lebih kecil; (b) Grafik tegangan searah sumbu-y yang diverifikasi dengan teori kontak statis Hertz..... | 33 |
| Gambar 4.9 | Nilai keausan maksimum yang diijinkan. | 34 |
| Gambar 4.10 | Ilustrasi grafik keausan yang cenderung naik..... | 35 |
| Gambar 4.11 | Ilustrasi grafik keausan yang cenderung turun. | 36 |
| Gambar 4.12 | Geometri juring..... | 36 |
| Gambar 4.13 | Geometri model (a) <i>pin</i> , (b) <i>disc</i> | 37 |
| Gambar 4.14 | Geometri model kecil (a) <i>pin</i> , (b) <i>disc</i> | 38 |
| Gambar 4.15 | <i>Material elastic</i> | 38 |
| Gambar 4.16 | <i>Create section</i> | 39 |
| Gambar 4.17 | <i>Edit section</i> | 39 |
| Gambar 4.18 | <i>Section assignment part 1</i> | 40 |
| Gambar 4.19 | <i>Section assignment part 2</i> | 41 |
| Gambar 4.20 | <i>Assembly part 1 dan part 2</i> | 42 |
| Gambar 4.21 | <i>Create step</i> | 43 |
| Gambar 4.22 | <i>Create interaction</i> | 44 |
| Gambar 4.23 | <i>Edit interaction dan contact property</i> | 45 |
| Gambar 4.24 | <i>Create boundary condition</i> | 46 |
| Gambar 4.25 | <i>Menu boundary condition</i> | 46 |
| Gambar 4.26 | <i>Create boundary condition</i> | 47 |
| Gambar 4.27 | Pemilihan <i>line</i> pada <i>pin</i> untuk penentuan kondisi batas. | 47 |
| Gambar 4.28 | <i>Create load</i> | 48 |
| Gambar 4.29 | Memasukkan data dan pemilihan titik untuk <i>load</i> yang diberikan pada <i>pin</i> | 48 |
| Gambar 4.30 | <i>Mesh</i> | 49 |
| Gambar 4.31 | <i>Create job</i> | 49 |
| Gambar 4.32 | <i>Job manager</i> | 50 |
| Gambar 4.33 | Proses <i>running/iteration</i> | 50 |
| Gambar 5.1 | Grafik tinggi keausan terhadap jarak <i>sliding (GIWM)</i> | 52 |
| Gambar 5.2 | Grafik tinggi keausan terhadap jarak <i>sliding (FEM)</i> | 53 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 5.3 | Grafik tegangan searah sumbu-y (σ_y)..... | 54 |
| Gambar 5.4 | Grafik tegangan searah sumbu-x (σ_x)..... | 55 |
| Gambar 5.5 | Kontur σ_y (a) saat <i>sliding</i> $s = 0$ mm, (b) saat <i>sliding</i> $s = 72$ mm | 55 |
| Gambar 5.6 | Kontur σ_x (a) saat <i>sliding</i> $s = 0$ mm, (b) saat <i>sliding</i> $s = 72$ mm. | 56 |
| Gambar 5.7 | Ilustrasi geometri <i>pin</i> yang membentuk sudut..... | 56 |
| Gambar 5.8 | Kontur σ_x dilihat dari permukaan atas saat <i>sliding</i> | 57 |
| Gambar 5.9 | Grafik keausan terhadap jarak <i>sliding</i> | 58 |
| Gambar 5.10 | Grafik tegangan searah sumbu-y (σ_y)..... | 58 |
| Gambar 5.11 | Kontur σ_y (a) saat <i>sliding</i> $s = 0$ mm, (b) saat $s = 66.83$ mm. | 59 |
| Gambar 5.12 | Grafik tegangan searah sumbu-x..... | 60 |
| Gambar 5.13 | Kontur σ_x (a) saat <i>sliding</i> $s = 0$ mm, (b) saat $s = 66.83$ mm. | 60 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 4.1 | Data-data perhitungan keausan. | 23 |
| Tabel 4.2 | Nilai untuk beberapa parameter <i>exponential</i> | 25 |
| Tabel 4.3 | Nilai koefisien keausan untuk beberapa material..... | 29 |
| Tabel 4.2 | Parameter-parameter untuk geometri <i>pin-on-disc</i> | 31 |

NOMENKLATUR

| Simbol | Keterangan | Satuan |
|------------|--|----------------------------|
| A | <i>Contact area</i> | $[\text{mm}^2]$ |
| A | Konstanta | [-] |
| a | Jari-jari | $[\text{mm}]$ |
| b | Konstanta | [-] |
| c | Konstanta | [-] |
| dh^w | Tinggi keausan yang sangat kecil | $[\mu\text{m}]$ |
| ds | Jarak <i>sliding</i> yang sangat kecil | $[\text{mm}]$ |
| E_C | Modulus elastisitas kontak | $[\text{MPa}]$ |
| E_P | Modulus elastisitas material <i>pin</i> | $[\text{MPa}]$ |
| E_D | Modulus elastisitas material <i>disc</i> | $[\text{MPa}]$ |
| e | <i>Exponential</i> | [-] |
| F_N | Gaya arah normal | $[\text{N}]$ |
| H | Kekerasan material tidak berdimensi | [-] |
| h^w | Tinggi keausan | $[\mu\text{m}]$ |
| h_e | Tinggi keausan elastic | $[\mu\text{m}]$ |
| h_{maxi} | Tinggi keausan maksimum tiap <i>increment</i> | $[\mu\text{m}]$ |
| i | <i>Increment</i> | [-] |
| k | Koefisien keausan tidak berdimensi | [-] |
| k_D | Koefisien keausan berdimensi | $[\text{mm}^3/\text{Nmm}]$ |
| p | Tekanan | $[\text{MPa}]$ |
| s | Jarak <i>sliding</i> | $[\text{mm}]$ |
| s | Selisih jarak <i>sliding</i> (<i>kenaikan jarak sliding</i>) | $[\text{mm}]$ |
| ν_P | <i>Poisson's ratio of pin</i> | [-] |
| ν_D | <i>Poisson's ratio of disc</i> | [-] |
| V | Volume | $[\text{mm}^3]$ |
| | <i>Fraction</i> (faktor pengali) | [-] |
| μ | Koefisien gesek | [-] |