



Doc filed.
28/11/12
[Signature]

UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PREDIKSI PENGARUH VARIASI KECEPATAN TERHADAP
KEAUSAN FASE *RUNNING-IN*
PADA SISTEM *ROLLING SLIDING CONTACT***

TUGAS AKHIR

RACHMAT SETIYADI

L2E007071

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
DESEMBER 2011**

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Rachmat Setiyadi

NIM : L2E 007 071

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

Jangka Waktu : 10 bulan

Judul : **Prediksi Pengaruh Variasi Kecepatan terhadap Keausan Fase *Running-in* pada Sistem *Rolling Sliding Contact*.**

Isi Tugas :

1. Analisa distribusi tekanan pada kontak berpelumas dengan metode *Load Sharing Concept*.
2. Prediksi keausan fase *running-in* pada kontak *rolling-sliding*.
3. Pengaruh variasi kecepatan terhadap *running in* pada kontak *rolling sliding*.

Dosen Pembimbing,



Dr. Jamari, ST, MT

NIP. 197403042000121001

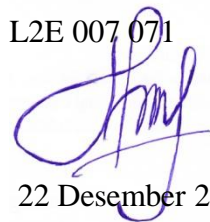
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Rachmat Setiyadi

NIM : L2E 007 071

Tanda Tangan :



Tanggal : 22 Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Rachmat Setiyadi

NIM : L2E 007 071

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Prediksi Pengaruh Variasi Kecepatan terhadap Keausan Fase Running-in pada Sistem *Rolling Sliding Contact*.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Jamari, ST, MT

()

Penguji : Syaiful, ST, MT, PhD

()

Penguji : Sri Nugroho, ST, MT, PhD

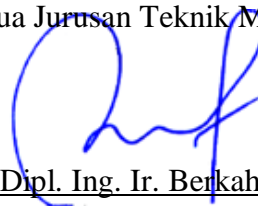
()

Penguji : Dr. Susilo Adi W. ST, MT

()

Semarang, 22 Desember 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Dipl. Ing. Ir. Berkah Fadjar TK

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : RACHMAT SETIYADI
NIM : L2E 007 071
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PREDIKSI PENGARUH VARIASI KECEPATAN TERHADAP
KEAUSAN FASE RUNNING-IN PADA SISTEM ROLLING SLIDING
CONTACT

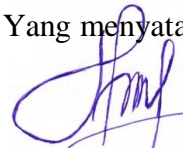
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 22 Desember 2011

Yang menyatakan



Rachmat Setiyadi
NIM. L2E 007 071

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

”jika engkau tidak sanggup menahan lelahnya belajar, maka engkau harus menanggung pahitnya kebodohan”

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Bapak Ibu tercinta, yang selalu memberikan doa, nasehat, kasih sayang, dan dukungan baik moral maupun material.
- ❖ Adikku tersayang atas dukungannya.

ABSTRAK

Pada kontak antar komponen mesin yang berada dalam kondisi berpelumas, saat dua permukaan '*fresh*' saling berkontak, terjadi keausan selama fase *running-in*. Dalam skala mikro, *asperity-asperity* yang saling berkontak tidak sepenuhnya *match*. Pada fase ini, *asperity-asperity* saling berkontak dan terjadi gerakan relatif hingga mengalami deformasi plastis. Deformasi ini menyebabkan terjadinya keausan yang mengakibatkan permukaan menjadi lebih *smooth* dan gesekan yang terjadi semakin berkurang.

Keausan dapat diprediksi dengan beberapa cara, dengan metode eksperimen skala laboratorium. Akan tetapi, metode eksperimen ini membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Pendekatan lain adalah pendekatan dengan model PEHL dan metode *load sharing concept*. Dalam hal ini penulis mengembangkan suatu model baru "*present model*" untuk kasus *line contact* yang dikombinasikan dengan *load sharing concept* untuk memprediksi keausan pada *mixed lubrication*.

Present model yang dikembangkan dengan *load sharing concept* dapat digunakan untuk memprediksi keausan karena hasil pemodelan tersebut mendekati hasil eksperimen dan perhitungan yang dikembangkan dengan metode *load sharing concept*. Selanjutnya dilakukan variasi kecepatan. Hasil dari *present model* pada variasi kecepatan 1.8 m/s, 2 m/s, dan 2.2 m/s pada kasus 1 berturut-turut adalah nilai ΔRa 0.140 μm , 0.127 μm , 0.115 μm , sedangkan pada kasus 2 berturut-turut adalah nilai ΔRa 0.486 μm , 0.458 μm , 0.428 μm . Dengan variasi kecepatan 1.8 m/s, 2 m/s, dan 2.2 m/s pada kasus 1, persentase beban yang diterima *asperity* pada awal fase *running-in* berturut-turut adalah 8.8 %, 8.1 %, 7.6 %, sedangkan pada kasus 2 adalah 14.8 %, 14.1 %, 13.6 %. Dengan menggunakan *present model* dapat dilakukan prediksi keausan. Meningkatnya kecepatan yang diberikan akan mengakibatkan berkurangnya perubahan *surface roughness* (ΔRa).

Kata kunci: keausan, *line contact*, *load sharing concept*, *mixed lubrication*

ABSTRACT

In the contact between the engine components in lubricated conditions, wear occurs during running-in phase. At micro scale, asperities contact does not match each other. In this phase, relative movement in asperities contact caused plastic deformation. This deformation causes wear, resulting in a more smooth surface and less friction.

Wear can be predicted by several ways, such as with methods of laboratory-scale experiments. However, this experimental method requires a lot of cost. Another approach is PEHL model and load sharing concept method. In this case the authors developed a new model "present model" for the case of line contact, combined with the load sharing concept to predict wear in mixed lubrication.

Present models are developed with load sharing concept can be used to predict wear due to the modeling results are close to the experimental results and by load sharing concept method. Then applied a variation of load. The results of the present model on the variation of load of 30 N, 40 N, and 60 N in case 1 is the value of ΔRa 0.0681 μm , 0.1275 μm , 0.1979 μm , respectively. The results of case 2 is the change of ΔRa 0.3335 μm , 0.4589 μm , 0.6076 μm . The effect of variation of load of 30 N, 40 N, and 60 N in case 1, the percentage load carried by asperity at the initial running-in is 5%, 8.5%, 12%, whereas in case 2 is 12%, 15%, 16%, respectively. Present model can be used to predict wear. Given the increased load led to increased surface roughness changes (ΔRa).

Keywords: wear, line contact, load sharing concept, mixed lubrication

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat 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. Dr. Jamari, ST, MT, selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana dan selaku kepala Lab. EDT yang telah memberikan fasilitasnya dalam menyelesaikan Tugas Sarjana.
2. Bapak Rifky Ismail, ST, MT, dan Bapak M. Tauviqirrahman, ST, MT, selaku dosen pembimbing pada LAB. EDT.
3. Semua pihak yang telah membantu tersusunnya laporan Tugas Akhir ini.

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, November 2011

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN ABSTRAK.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN KATA PENGANTAR.....	ix
HALAMAN DAFTAR ISI.....	x
HALAMAN DAFTAR GAMBAR	xii
HALAMAN DAFTAR TABEL.....	xiv
NOMENKLATUR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang.....	1
1.2. Tujuan penulisan.....	3
1.3. Batasan masalah.....	3
1.4. Metodologi penelitian	4
1.5. Sistematika penulisan	5
BAB II <i>RUNNING-IN</i> PADA KONTAK <i>ROLLING SLIDING</i>	6
2.1. Pengertian <i>running-in</i>	6
2.2. Faktor yang mempengaruhi <i>running-in</i>	7
2.3. Kontak <i>rolling sliding</i>	9
2.4. Keausan (<i>wear</i>) pada kontak <i>rolling sliding</i>	10
2.5. <i>Slide to roll</i> , <i>creep</i> dan <i>slip</i> pada kontak <i>rolling sliding</i>	12
2.6. Jenis kontak berpelumas	14
2.7. <i>Density of asperity</i>	16

BAB III MODEL-MODEL KEAUSAN.....	18
3.1. Pemodelan keausan	18
a) Model PEHL Wang	18
b) Model <i>Load sharing concept</i> Akbarzadeh	20
c) <i>Present Model</i>	23
3.2. <i>Load Sharing Concept</i>	26
3.3. <i>Load Sharing Concept</i> untuk kontak pada <i>rough surfaces</i>	30
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 33
4.1. Hasil perhitungan pemodelan keausan	33
4.2. Perubahan <i>load</i> selama <i>running-in</i>	36
4.3. Prediksi keausan dengan variasi kecepatan <i>rolling-sliding</i>	37
4.4. Pengaruh variasi kecepatan terhadap keausan	42
 BAB V PENUTUP	 43
5.1. Kesimpulan	43
5.2 . Saran.....	43
 DAFTAR PUSTAKA	 45
 LAMPIRAN	 47
a) <i>Journal International</i> yang berjudul “ <i>On the Prediction of the running-in behavior in mixed-lubrication line contact.</i> ”, oleh Saleh Akbarzadeh, dan M. M Khonsari	48
b) MatLab and C++ code.....	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh komponen-komponen permesinan yang saling kontak.....	1
Gambar 1.2	<i>Bathtub Curve</i>	2
Gambar 1.3	Diagram alir penelitian	4
Gambar 2.1	Perbedaan <i>surface pattern</i>	8
Gambar 2.2	Kontak permukaan <i>non-conforming</i> pada titik <i>O</i>	10
Gambar 2.3	Perubahan bentuk <i>asperity</i> akibat deformasi plastis.	11
Gambar 2.4	<i>Abrasive wear</i> akibat gerak <i>sliding</i>	12
Gambar 2.5	<i>Hydrodynamic lubrication</i>	15
Gambar 2.6	<i>Mixed lubrication</i>	15
Gambar 2.7	<i>Boundary lubrication</i>	16
Gambar 2.8	Skema <i>summit</i> pada <i>asperity</i>	17
Gambar 3.1	Skema model keausan PEHL.....	19
Gambar 3.2	Alur perhitungan perubahan <i>surface roughness</i> pada model PEHL.....	20
Gambar 3.3	Skema kontak pada <i>asperity</i>	21
Gambar 3.4	Alur perhitungan perubahan <i>surface roughness</i>	23
Gambar 3.5	Kontak antara gear dengan pinion mengikuti garis kontak.....	24
Gambar 3.6	Ilustrasi penggunaan dua roller untuk mengimitasi kontak antara roda gigi.....	24
Gambar 3.7	Ilustrasi kontak antar dua permukaan.....	25
Gambar 3.8	<i>Line contact</i>	26
Gambar 3.9	Skema kontak <i>asperity</i>	28

Gambar 4.1	Grafik perubahan <i>Ra</i> terhadap waktu selama <i>running-in</i>	35
Gambar 4.2	Grafik perubahan <i>Load</i> terhadap waktu selama <i>running-in</i>	36
Gambar 4.3	Grafik perubahan <i>Ra</i> terhadap waktu selama <i>running-in</i> dengan variasi kecepatan <i>rolling-sliding</i> pada kasus 1 ($Ra = 0.5105 \mu\text{m}$).....	38
Gambar 4.4	Grafik distribusi <i>load</i> yang diterima <i>asperity</i> dan <i>fluid film</i> terhadap waktu dengan kondisi kecepatan yang berbeda pada kasus 1 ($Ra = 0.5105 \mu\text{m}$).....	39
Gambar 4.5	Grafik perubahan <i>Ra</i> terhadap waktu selama <i>running-in</i> dengan variasi kecepatan <i>rolling-sliding</i> pada kasus 2 ($Ra = 1.2678 \mu\text{m}$).....	40
Gambar 4.6	Grafik distribusi <i>load</i> yang diterima <i>asperity</i> dan <i>fluid film</i> terhadap waktu dengan kondisi kecepatan yang berbeda pada kasus 2 ($Ra = 1.2678 \mu\text{m}$).....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data eksperimen Wang and Wong	35
Tabel 4.2	Perubahan Ra dengan kondisi kecepatan yang berbeda pada kasus 1	39
Tabel 4.3	Perubahan distribusi beban <i>asperity</i> dan pelumas akibat variasi kecepatan pada kasus 1	40
Tabel 4.4	Perubahan Ra dengan kondisi kecepatan yang berbeda pada kasus 2	41
Tabel 4.5	Perubahan distribusi beban <i>asperity</i> dan pelumas akibat variasi kecepatan pada kasus 1	42

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
A_e	<i>Contact area</i> pada deformasi elastis	[m ²]
A_{ep}	<i>Contact area</i> pada deformasi elastis-plastis	[m ²]
A_p	<i>Contact area</i> pada deformasi plastis	[m ²]
A_r	<i>Contact area</i> aktual	[m ²]
B	Lebar <i>roller</i>	[m]
C_t	Faktor koreksi <i>thermal</i> untuk <i>film thickness</i>	[-]
d	<i>Wear depth</i>	[m]
D_{sum}	<i>Density of asperities</i>	[1/ m ²]
E_1	Modulus elastisitas material roller 1	[MPa]
E_2	Modulus elastisitas material roller 2	[MPa]
E_P	Modulus elastisitas material equivalen	[MPa]
f_c	Koefisien gesek antar <i>asperity</i>	[-]
F_C	Beban yang diterima <i>asperity</i>	[N]
F_H	Beban yang diterima <i>fluid film</i>	[N]
F_T	Beban yang diberikan	[N]
H	Kekerasan material	[N/ m ²]
h_c	<i>Central film thickness</i>	[m]
k_e	<i>Elastic wear coefficient</i>	[-]
K_f	Konduktivitas <i>thermal lubricant</i>	[W/mK]
k_p	<i>Plastic wear coefficient</i>	[-]
k_m	<i>Wear coefficient for rubbing wear</i>	[-]
k	<i>Wear coefficient for lubricated contact</i>	[-]
L	<i>Sampling length</i>	[m]
R_1	Radius <i>roller</i> 1	[m]
R_2	Radius <i>roller</i> 2	[m]
R_a	<i>Aritmetic average of asperity heights</i>	[m]
R'	Radius equivalen	[m]

s	Jarak <i>sliding</i>	[m]
u	Jumlah kecepatan	[m/s]
$u_{rolling}$	Kecepatan <i>rolling</i>	[m/s]
U_{dif}	Kecepatan <i>sliding</i>	[m/s]
V	<i>Worn volume</i>	[m ³]
\dot{V}	Laju <i>wear</i>	[mm ³ /s]
\dot{W}	Laju <i>wear</i>	[m ³ /s]
w	<i>Interference</i>	[m]
w_e	<i>Interference at point of initial yielding</i>	[m]
w_p	<i>Interference at the beginning of fully plastic deformation</i>	[m]
y_s	Jarak antara tinggi rata-rata <i>asperity</i> dengan tinggi permukaan rata-rata	[m]
z	Tinggi <i>asperity</i>	[m]
Z_{lub}	<i>Viscosity-pressure index of lubricant</i>	[-]
α	<i>Viscosity-pressure coefficient</i>	[-]
β	Radius <i>asperity</i>	[m]
γ	<i>Temperatur-viscosity coefficient</i>	[1/K]
γ_1	<i>Scaling factor hydrodynamic</i>	[-]
γ_2	<i>Scaling factor asperity</i>	[-]
ν	<i>Poisson's ratio</i>	[-]