

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISA TRANSIENT ROLLING CONTACT
DENGAN APLIKASI *SLIP* PADA SILINDER ELASTIS
MENGGUNAKAN METODE ANALITIK DAN
METODE ELEMEN HINGGA

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



Disusun oleh:

KURNIAWAN

L2E 307 027

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG

2010

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Kurniawan
NIM : L2E 307 027
Pembimbing : Ir. Sugiyanto, DEA.
Jangka Waktu : 11 (sebelas) bulan
Judul : **Analisa *Transient Rolling Contact* Dengan Aplikasi *Slip* Pada Silinder Elastis Menggunakan Metode Analitik dan Metode Elemen Hingga**

Isi Tugas :

1. Menganalisa dan memodelkan *rolling contact* serta verifikasi dengan beberapa model literatur yang membahas *rolling contact*.
2. Menghitung distribusi traksi dalam *rolling contact* dua buah silinder elastis.
3. Menganalisa efek dari adanya fenomena *transient* dan perubahan traksi dalam *rolling contact* dua buah silinder elastis dengan aplikasi *slip*.

Dosen Pembimbing,

Ir. Sugiyanto, DEA.

NIP. 196 001 251 987 031 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “*Analisa Transient Rolling Contact Dengan Aplikasi Slip Pada Silinder Elastis Menggunakan Metode Analitik dan Metode Elemen Hingga*” yang disusun oleh:

Nama : Kurniawan
NIM : L2E307027

telah disetujui pada:

Hari :
Tanggal :

Dosen Pembimbing,

Ir. Sugiyanto, DEA.

NIP. 196 001 251 987 031 001

Mengetahui,

Koordinator Tugas Sarjana

Dr. MSK. Tony Suryo Utomo, ST, MT.

NIP. 197 104 211 999 031 003

Pembantu Dekan I

Ir. Bambang Pudjianto, MT.

NIP. 195 212 051 985 031 001

ABSTRAK

Kondisi *start transient* merupakan salah satu fenomena menarik yang sering terjadi dalam dunia mesin, namun masih jarang dibahas. *Transient*, dalam ilmu perancangan teknik, perlu dipertimbangkan karena berkaitan dengan gaya tangensial, gesekan dan waktu atau jarak. Prediksi *transient* akan sangat bermanfaat untuk perancangan komponen mesin presisi dan peralatan dengan gerak relatif, karena periode *transient* merupakan periode yang rawan terhadap terjadinya kerusakan material akibat adanya perbedaan kecepatan kedua benda yang saling kontak. Sebagai salah satu contoh studi, dipelajari kondisi *transient rolling contact* dengan obyek silinder bersumbu paralel.

Analisa bertujuan untuk mempelajari fenomena distribusi traksi serta terbentuknya daerah *slip* dan *stick*. Simulasi kondisi *transient* dilakukan dengan aplikasi *slip* yang terkontrol pada model, menghasilkan gaya tangensial. Untuk memperjelas analisa, dilakukan prediksi secara analitik dengan literatur perbandingan dan pemodelan dua dimensi menggunakan Elemen Hingga. Pengamatan menghasilkan perbandingan antara perhitungan analitik dengan Elemen Hingga pada parameter jarak *rolling* dan distribusi traksi, dengan perbedaan berkisar 0.5 %.

Kata kunci: *transient rolling*, *stick-slip*, *rolling contact*, traksi, silinder elastis, metode analitik, metode elemen hingga.

ABSTRACT

Transient start rolling was an interesting phenomenon commonly occurs in mechanical engineering, but still rarely discussed. Transient, in engineering design, should be considered due to its relation in tangential force, friction, also time and distance. Transient prediction would be very usefull in designing of precisionly engine components and relatively moving apparatus, because the transient periode could has significant effects in material destruction due to velocity differences between two contacting bodies. As a studying example, it's learnt about transient rolling contact conditions with parallel axis cylinder.

The analysis concerned to observe the traction distribution phenomenon, also slip and stick region formation. Transient condition was simulated on model with an applied controlled slip, resulting tangential forces. Analitically prediction has done with considered literature and two-dimensional modelling using Finite Element. The observation resulted a comparison between analitically results and Finite Element results on parameters rolling distance and traction distribution, with approximately 0.5% in differences.

Keywords: transient rolling, stick-slip, rolling contact, traction rolling, elastic cylinder, analytical methode, finite element.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Ibunda tercinta yang selalu memberikan do'a serta dukungan.
- ❖ Istriku tersayang, putraku Daffa Maulana Kurniawan dan Kautsar Mahardika Kurniawan. *I love you all!*
- ❖ Kakakku Nerys Santana dan Indera Aini atas dukungannya.

KATA PENGANTAR

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

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini tidak lepas dari bantuan orang-orang yang dengan sepenuh hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Sugiyanto, DEA selaku Pembimbing Tugas Sarjana.
2. Dr. Jamari, ST, MT selaku Kepala Laboratorium *Engineering Design and Tribology* dan co pembimbing Tugas Sarjana.
3. Rifky Ismail, ST, MT atas bimbingan dan bantuannya.
4. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Sarjana.

Penulis menyadari bahwa dalam menyusun laporan ini terdapat kekurangan dan keterbatasan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan di masa yang akan datang sangat diharapkan.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan Tugas Sarjana ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Semarang, April 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS SARJANA	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
NOMENKLATUR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Pembatasan Masalah	2
1.4. Metode Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TEORI <i>ROLLING CONTACT</i>	6
2.1. Pengertian <i>Rolling Contact</i>	6
2.2. Fenomena <i>Transient Rolling Contact</i>	7

BAB III MODEL-MODEL <i>ROLLING CONTACT</i>	13
3.1. Model Bhargava <i>et al.</i> [7]	13
3.2. Model Bhargava <i>et al.</i> II [8]	14
3.3. Model Carter [1]	14
3.4. Model Reynolds [1]	15
3.5. Model Bental dan Johnson [1]	15
3.6. Model Nowell dan Hills [1]	15
3.7. Model Gonzales dan Abascal [1]	16
3.8. Model Kalker [1, 9]	16
3.9. Model Mindlin dan Cattaneo [1]	17
3.10. Model <i>From Cattaneo to Carter</i> [10]	18
BAB IV PEMODELAN <i>TRANSIENT ROLLING CONTACT</i>	20
4.1 Metode Analitik	20
4.1.1 <i>Constant Slip</i>	21
4.1.2 <i>Data-data Perhitungan Analitik</i>	23
4.2 Metode Elemen Hingga	24
4.2.1 Teori Dasar Metode Elemen Hingga	25
4.2.2 Metodologi Pemodelan	36
4.2.3 Spesifikasi Pemodelan <i>Transient Rolling Contact</i>	38
4.2.4 Aplikasi <i>Slip</i> pada Model <i>Transient Rolling Contact</i>	41
4.2.5 Prosedur Pembuatan Model <i>Rolling Contact</i>	41
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	63
5.1 Hasil Metode Analitik	63
5.2 Hasil Simulasi Menggunakan Metode Elemen Hingga	67
5.2.1 Validasi Model Terhadap Distribusi Tekanan Hertzian	67
5.2.2 Validasi Model Terhadap Teori Kalker	68

5.2.3	Peningkatan Beban Traksi	69
5.2.4	Perubahan Traksi Pada Jarak Tertentu	70
5.2.5	Bentuk Kontur Tegangan Arah y (σ_{yy})	71
BAB VI PENUTUP		73
6.1	Kesimpulan	73
6.2	Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gambar 1.2 Contoh aplikasi <i>rolling contact</i> . (a) Roda dan jalan [2], (b) <i>Roller bearing</i> [3]	1
Gambar 1.2	Diagram alir metode penelitian.....	3
Gambar 2.1	<i>Rolling contact</i> [5]	6
Gambar 2.2	Dua buah silinder yang berputar satu sama lain [6]	7
Gambar 2.3	Skema <i>free moving velocities</i> dari benda tanpa massa pada saat dikenakan <i>slip</i> relatif yang konstan pada $t = 0$ pada kontak <i>stasioner</i> dan <i>free rolling</i> [1].....	8
Gambar 2.4	Distribusi traksi menurut Carter [8] pada <i>steady-state rolling</i> dengan $Q/\mu P = 0.75$. Arah <i>rolling</i> menuju ke kanan [1, 15]	10
Gambar 2.5	Parameter kontak dan fenomena deformasi [1]	12
Gambar 3.1	Hasil dari pemodelan Cattaneo. Distribusi traksi tangensial sepanjang pusat saat $y = 0$ [9]	18
Gambar 3.2	Ilustrasi <i>From Cattaneo to Carter Model (shift to steady state rolling)</i> [10]	19
Gambar 4.1	Beban traksi menurut persamaan (4.5); <i>transient rolling</i> dengan <i>slip</i> konstan, dimulai dari kontak <i>stasioner</i> [1]	22
Gambar 4.2	Kurva <i>creep</i> pada <i>steady state rolling</i> menurut Carter [1]	23
Gambar 4.3	Penggunaan elemen <i>plane strain</i> , <i>plain stress</i> dan <i>axisymmetric</i> pada <i>ABAQUS</i> [11]	26
Gambar 4.4	Penggunaan elemen (a) <i>quadrilateral</i> dan (b) <i>triangular</i> dalam <i>ABAQUS</i> [11]	27
Gambar 4.5	<i>Meshing</i> pada bidang 2D dengan elemen (a) <i>rectangular</i> dan (b) <i>quadrilateral</i> empat node CPE4R pada <i>ABAQUS</i> [19]	27
Gambar 4.6	<i>Coordinate Mapping</i> antara (a) <i>Physical Coordinate System</i> menjadi (b) <i>Natural Coordinate System</i> [19]	28
Gambar 4.7	(a) Contoh kasus pada <i>truss</i> , (b) Diskretisasi model [11]	32

Gambar 4.8	<i>Free body diagram</i> [11]	32
Gambar 4.9	Elemen yang sering digunakan pada analisa <i>FEM</i> [19]	34
Gambar 4.10	Diagram alir untuk simulasi <i>rolling</i> dengan <i>FEM</i>	37
Gambar 4.11	<i>Meshing</i> dalam Pemodelan	39
Gambar 4.12	Grafik tegangan searah sumbu-y yang diverifikasi dengan teori kontak statis Hertz	40
Gambar 4.13	Aplikasi <i>slip</i> pada model <i>FEM</i> , menghasilkan beban tangensial [7]	41
Gambar 4.14	Model silinder atas untuk <i>rolling contact</i>	42
Gambar 4.15	Model silinder bawah untuk <i>rolling contact</i>	43
Gambar 4.16	Memasukkan sifat material pada pemodelan	44
Gambar 4.17	Pembuatan <i>Section</i>	45
Gambar 4.18	<i>Edit Section</i>	45
Gambar 4.19	<i>Edit Section Assignment</i>	46
Gambar 4.20	<i>Assembly</i> silinder atas dan bawah	47
Gambar 4.21	<i>Create Step</i>	48
Gambar 4.22	<i>Edit Step Basic</i>	49
Gambar 4.23	<i>Edit Step Incrementation</i>	49
Gambar 4.24	<i>Create Interaction Property</i>	50
Gambar 4.25	<i>Edit Contact Property</i>	51
Gambar 4.26	<i>Edit Contact Control</i>	52
Gambar 4.27	<i>Create Interaction</i>	53
Gambar 4.28	<i>Edit Interaction</i>	54
Gambar 4.29	<i>Create Amplitude dan Edit Amplitude</i>	55
Gambar 4.30	<i>Create Boundary Condition</i>	56
Gambar 4.31	<i>Edit Boundary Condition</i> saat <i>Indenting</i> . (a) Silinder bawah, (b) Silinder atas	57
Gambar 4.32	<i>Create Load</i>	59
Gambar 4.33	Memasukkan data dan pemilihan titik untuk <i>load</i> yang diberikan pada silinder bawah	59
Gambar 4.34	<i>Create Job</i>	60

Gambar 4.35	<i>Job Manager</i>	61
Gambar 4.36	Proses <i>running/iterasi</i>	62
Gambar 5.1	Fenomena perubahan beban traksi selama periode <i>transient</i> dengan aplikasi <i>slip</i> konstan [1].....	64
Gambar 5.2	Distribusi traksi menurut Carter pada <i>steady-state rolling</i> dengan $Q/\mu P = 0.75$ [1]	65
Gambar 5.3	Kurva <i>creep</i> pada <i>steady-state rolling</i> menurut Carter [1] pada variasi $Q/\mu P$	66
Gambar 5.4	Peningkatan beban traksi <i>transient</i> selama <i>start</i> dari kondisi diam [1]	66
Gambar 5.5	Perubahan $q(y)$ pada $Q/\mu P = 0.5$ dan 0.75 [1]	67
Gambar 5.6	Validasi dengan distribusi tekanan Hertzian	68
Gambar 5.7	Peningkatan traksi dengan <i>tangential load ratio</i> $Q/\mu P = 0.75$ [1, 7]	69
Gambar 5.8	Peningkatan beban traksi dengan aplikasi <i>slip</i> konstan [1]	70
Gambar 5.9	Perubahan $q(y)$ pada $sR^*/\mu a = 0.42$ dengan aplikasi <i>slip</i> konstan [1]	71
Gambar 5.10	Kontur tegangan searah sumbu-y (σ_{yy}) [1]	72
Gambar 5.11	Kontur tegangan searah sumbu-y (σ_{yy}) hasil pemodelan	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data-data Perhitungan Analitik [1]	24
Tabel 4.2	Parameter-parameter untuk pemodelan <i>Rolling Contact</i> [1]	38

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
a	Jari-jari Kontak	[mm]
c	Setengah Lebar <i>Stick Region</i>	[mm]
d	Jarak Pusat Kontak Dengan Pusat <i>Stick Region</i>	[mm]
e	<i>Nodal Stick</i>	[-]
E	Modulus Elastisitas	[MPa]
E^*	<i>Composite Modulus Elastisitas</i>	[MPa]
i	<i>Increment</i>	[-]
k	<i>Bulk Stiffness</i>	[MPa]
L	Jarak <i>Rolling</i>	[mm]
N	<i>Shape Function Matrix Vector</i>	[-]
P	Gaya Normal pada Silinder	[N/mm]
Q	Gaya Tangensial Maksimum	[MPa]
R	Jari-jari Silinder	[mm]
R^*	<i>Composite Curvature</i>	[mm]
s	Besaran <i>Slip</i> Relatif	[%]
ν	<i>Poisson's Ratio</i>	[-]
V	<i>Velocity Linear</i>	[rad/s]
x	Arah Sumbu Vertikal	[-]
y	Arah Sumbu Horisontal	[-]
μ	Koefisien Gesek	[-]
ω	Kecepatan <i>Angular</i>	[rad/s]
β	Konstanta Dundurs	[-]
ξ	<i>Creep Ratio</i>	[-]
δ	Deformasi	[mm]
ζ	Arah Horisontal pada <i>Natural Coordinate System</i>	[-]
λ	Arah Vertikal pada <i>Natural Coordinate System</i>	[-]