

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISA ELASTIS-PLASTIS KONTAK *ROLLING*
MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

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



Disusun oleh:

DWI APRIYANTO

L2E 307 015

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG

2010

TUGAS SARJANA

Diberikan kepada:

Nama : Dwi Apriyanto

NIM : L2E 307 015

Pembimbing : Ir. Sugiyanto, DEA.

Jangka Waktu : 11 (Sebelas) bulan

Judul : **Analisa Elastis-Plastis Kontak *Rolling* Menggunakan Metode Elemen Hingga**

Isi Tugas :

1. Analisa pemodelan *rolling contact* beserta hasil dari simulasi berupa deformasi dan tegangan pada *contact area* dengan variabel pembebanan.
2. Membandingkan hasil yang diperoleh dengan model lain.

Dosen Pembimbing,


Ir. Sugiyanto, DEA.
NIP. 196 001 251 987 031 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Sarjana dengan judul “ **Analisa Elastis-Plastis Kontak *Rolling* Menggunakan Metode Elemen Hingga**” yang disusun oleh:

Nama : Dwi Apriyanto

NIM : L2E 307 015

telah disetujui pada:

Hari : Senin


Tanggal : 14 Juni 2010

Dosen Pembimbing,


Ir. Sugyanto, 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

Permasalahan *rolling contact* merupakan hal yang menarik untuk diselesaikan dan banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Seperti pada permasalahan kontak roda dengan rel, dan masih banyak permasalahan dimana *rolling* maupun *rolling* dengan *sliding*. Pada fenomena pergerakan roda merupakan gerak *rolling* yang mengalami contact dengan lintasan ataupun permukaan yang terkena area contact roda. Dalam aplikasinya roda dibedakan berdasarkan kondisi dari operasi dan lintasan yang dilalui, seperti kontak antara roda dengan rel kereta api, roda dengan lintasan jalan raya, dan sebagainya.

Tujuan dalam penulisan tugas akhir ini memodelkan *rolling contact* serta memverifikasi dengan beberapa model yang membahas *rolling contact*. Hal ini dianalisa dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan *software* ABAQUS 6.5-1. Sifat material yang digunakan adalah elastis - plastis. Pada penelitian ini diambil suatu kasus kontak yaitu *rolling contact* disimulasikan dengan gerak *rolling* dari *semielliptical pressure* yang terdistribusi. Selain itu juga dilakukan simulasi pergerakan *pure rolling contact* serta *repeated rolling contact* dengan menggunakan metode *updating geometry*. Hasil yang didapatkan dari analisa menunjukkan besarnya pembebanan yang dilakukan sangat berpengaruh terhadap bentuk kontur permukaan dan tegangan maksimum yang terjadi pada *contact area*. Verifikasi dengan hasil analisa dengan *FEM* yang dilakukan penulis terhadap model lainnya maka hasilnya menunjukkan *error* yang cukup kecil, dengan nilai rata-rata 1,017 %.

Kata kunci: pembaruan geometri, kontak rolling, metode elemen hingga, kontak rolling berulang.

ABSTRACT

Rolling contact is one of the problems, that be found it on our daily activities, and is interesting to analyze, such as the contact of wheel and track, and many other problem where rolling models or rolling with sliding. On the phenomenon of wheel rolling, which is rolling movement contacting track or surface that touches the area of wheel contacts. In daily application, wheel are distinguished based on the condition of operation and track, such as contact between wheel and railways, wheel with highway track and others.

The purpose of this final project is modelling rolling contact, and verify it with other method of rolling contact model. The phenomenon is being analyzed using Finite Element Method, by using ABAQUS 6.5-1 Software. The nature of material analyzed is plastic – elastic. In this research, case taken is rolling contact, simulated using rolling movement of distributed semielliptical pressure. Beside, simulation are also created by using movement of pure rolling contact and also repeated rolling contact by using updating geometry method. The analysis reported that the amount of load is very affected on the form of surface contour and maximum tension on the contact area. Verification on the analysis report using Finite Element Method used by author to other models resulted small amount of errors, with average of 1,017%.

Keywords: update geometry, rolling contact, Finite Element Method, repeated rolling contact.

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 Calon Pendampingku tersayang atas dukungannya.

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. Ir. Sugiyanto, DEA selaku dosen pembimbing Tugas Sarjana.
2. Dr. Jamari, ST, MT selaku Kepala Laboratorium *Engineering Design and Tribology* (EDT).
3. Rifky Ismail, ST, MT, Mbak Nur dan M Tauviqirrahman, ST, MT, atas bantuannya di Laboratorium EDT.
4. 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, April 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xvi
NOMENKLATUR.....	xvii
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.....	5
BAB II <i>ROLLING CONTACT</i>	7
2.1. Teori <i>Hertzian Contact</i>	7
2.2. Teori <i>Rolling Contact</i>	10
2.2.1. <i>Simplified Theory</i>	11
2.2.2. <i>Linier Theory</i>	12
2.2.3. <i>Exact Three Dimensional Rolling Contact Theory</i>	12
2.2.4. <i>Conformal Contact (Li-Kalker Theory)</i>	12
2.2.5. <i>Implementation of Kalker’s Wheel-Rail Contact Theory</i>	13

2.2.6. Gesekan	14
2.2.7. Pendekatan Klasik untuk Kontak Roda-Rel	14
2.3. Teori <i>Repeated Rolling Contact</i>	16
BAB III PEMODELAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA	18
3.1. Teori Dasar FEM.....	18
3.2. Spesifikasi Masalah.....	21
3.3. Proses Pemodelan dan Simulasi	22
3.3.1. Pembuatan Model	22
3.3.2. Penentuan Material dan Sifatnya.....	23
3.3.3. Penentuan <i>Section Manager</i>	25
3.3.4. Penentuan <i>Section Assigment Manager</i>	26
3.3.5. <i>Assembly Part</i>	26
3.3.6. Penentuan Jumlah <i>Step</i> dalam Proses Simulasi	27
3.3.7. Penentuan Kontak dan Target Permukaan.....	27
3.3.8. Pembebanan.....	28
3.3.9. <i>Meshing</i>	29
3.3.10. Penentuan <i>Element Type</i>	30
3.3.11. <i>Job Manager</i>	30
BAB IV HASIL DAN ANALISA	31
4.1 Perbandingan Model Bhargava dengan <i>Present Model</i>	31
4.1.1 Kontak Elastis.....	32
4.1.2 Kontak Elastis-Plastis	35
4.1.3 Hasil dan Analisis untuk Kontak <i>Rolling</i>	38
4.2 Perbandingan Model Marek dengan <i>Present Model</i>	44
4.2.1 Kontak Elastis.....	45
4.2.2 Kontak Elastis-Plastis	47
4.2.3 <i>Rolling Update</i> Pertama.....	48

4.2.4	<i>Rolling Update</i> Kedua	50
4.2.5	<i>Rolling Update</i> Ketiga	51
4.2.6	<i>Rolling Update</i> Keempat	53
4.3	<i>Update Geometry</i> dengan Variasi Pembebanan.....	54
4.4	Hasil dan Perbandingan dengan <i>Software CONTACT</i>	58
BAB V PENUTUP.....		61
4.1	Kesimpulan	61
4.2	Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN.....		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh komponen mesin yang saling kontak	2
Gambar 1.2	<i>Flow chart</i> penelitian	4
Gambar 2.1	Pemodelan <i>point contact</i> antara <i>sphere vs sphere</i>	8
Gambar 2.2	Pemodelan <i>line contact</i> antara <i>cylinder vs cylinder</i>	9
Gambar 2.3	<i>Rolling contact</i> roda-rel.....	13
Gambar 2.4	Geometri <i>rolling contact</i> roda-rel.	13
Gambar 2.5	Gaya yang terjadi pada <i>rolling contact</i> roda-rel.	14
Gambar 2.6	Representasi secara mekanikal pemodelan <i>rolling contact</i> pada roda-rel	15
Gambar 3.1	Pemodelan dengan <i>Finite Element Method</i>	18
Gambar 3.2	Tipe <i>Finite Element</i>	19
Gambar 3.3	Pemodelan <i>rolling elastic-plastic</i> dengan gesekan	22
Gambar 3.4	Plot model.	23
Gambar 3.5	Plot penentuan nilai material (<i>slope</i>) tegangan dan regangan.....	24
Gambar 3.6	Plot model material <i>elastic</i>	25
Gambar 3.7	Plot model material <i>plastic</i>	25
Gambar 3.8	Plot <i>section manager</i>	26
Gambar 3.9	Plot <i>section assignment manager</i>	26
Gambar 3.10	Plot <i>part assembly</i>	27
Gambar 3.11	Plot <i>step manager</i>	27
Gambar 3.12	Plot <i>interaction manager</i>	28
Gambar 3.13	Plot <i>constraint manager</i>	28
Gambar 3.14	Plot <i>load manager</i>	29
Gambar 3.15	Plot <i>boundary condition manager</i>	29
Gambar 3.16	Plot <i>mesh control</i> dan hasil meshing.....	29

Gambar 3.17	Plot penentuan element type..	30
Gambar 3.18	Plot job <i>manager</i>	30
Gambar 4.1	Skema pembebanan kontak <i>rigid cylinder</i> dengan beban berupa <i>concentrated force (P)</i> pada <i>plane strain</i>	32
Gambar 4.2	Distribusi <i>Von Mises stress</i> dari <i>present model</i> untuk kontak statis elastis ($P = 893.27 N$)..	34
Gambar 4.3	Distribusi <i>Von Mises stress S22</i> (<i>tegangan maksimum/Po</i>) dari <i>present model</i> untuk kontak statis elastis ($P = 893.27 N$)	34
Gambar 4.4	Hubungan antara P/P_0 terhadap x/a dari <i>present model</i> dengan <i>hertz model</i> untuk kontak statis elastis ($P = 893.27 N$)..	35
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara <i>yield stress</i> dengan <i>strain</i> dari <i>present model</i> ..	37
Gambar 4.6	Distribusi <i>Von Mises stress</i> dari <i>present model</i> untuk kontak elastis- plastis ($P = 893.27 N$)	37
Gambar 4.7	<i>Pressure</i> distribusi awal dengan pembesaran 54.2 model <i>Bhargava</i>	38
Gambar 4.8	<i>Pressure</i> distribusi awal dengan pembesaran 54.2 menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	38
Gambar 4.9	<i>Pressure</i> distribusi translasi menuju <i>center</i> dengan pembesaran 72.0 model <i>Bhargava</i>	39
Gambar 4.10	<i>Pressure</i> distribusi translasi menuju <i>center</i> dengan pembesaran 72.0 menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	39
Gambar 4.11	<i>Pressure</i> distribusi pada akhir <i>rolling</i> dengan pembesaran 78.3 model <i>Bhargava</i>	40
Gambar 4.12	<i>Pressure</i> distribusi pada akhir <i>rolling</i> dengan pembesaran 78.3 menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	40

Gambar 4.13	Residual <i>displacement</i> pada saat pembebanan dihilangkan dengan pembesaran 78.3 model <i>Bhargava</i>	41
Gambar 4.14	Residual <i>displacement</i> pada saat pembebanan dihilangkan dengan pembesaran 78.3 menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	41
Gambar 4.15	Distribusi <i>Von Mises stress</i> dari <i>present model</i> untuk kontak <i>rolling</i> elastis-plastis ($P = 893.27 N$) menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i> ...41	41
Gambar 4.16	Distribusi <i>Von Mises stress</i> dari <i>present model</i> model <i>Bhargava</i>	42
Gambar 4.17	Distribusi <i>Von Mises stress</i> dari <i>present model</i> bentuk <i>line</i> untuk kontak <i>rolling</i> elastis-plastis ($P = 893.27 N$) menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	42
Gambar 4.18	Distribusi <i>PEEQ (residual plastic equivalent strain)</i> dari <i>present model</i> untuk kontak <i>rolling</i> elastis-plastis ($P = 893.27 N$) menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	43
Gambar 4.19	Distribusi <i>PEEQ (residual plastic equivalent strain)</i> dari model <i>Bhargava</i>	43
Gambar 4.20	Distribusi <i>PEEQ (residual plastic equivalent strain)</i> dari <i>present model</i> bentuk <i>line</i> untuk kontak <i>rolling</i> elastis-plastis ($P = 893.27 N$) menggunakan <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	43
Gambar 4.21	Distribusi <i>Von Mises stress</i> dari <i>present model</i> untuk kontak statis elastis	46
Gambar 4.22	Distribusi <i>Von Mises stress S22 (tegangan maksimum/Po)</i> dari <i>present model</i> untuk kontak statis elastis	46
Gambar 4.23	Hasil distribusi tegangan <i>Von Mises</i> saat indenting (awal pergerakan <i>rolling</i>) pada model Marek	47
Gambar 4.24	Hasil distribusi tegangan <i>Von Mises</i> saat indenting (awal pergerakan <i>rolling</i>) dengan memakai <i>software ABAQUS 6.5-1</i>	47

Gambar 4.25	Plane update geometry 1 (hasil deformasi dari kontak pertama) load 74631 N sebagai input part pada assembly repeated <i>rolling contact</i>	48
Gambar 4.26	<i>Von Misses</i> update 1 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N.....	49
Gambar 4.27	<i>Von Misses</i> bentuk <i>line</i> update 1 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N	49
Gambar 4.28	Plane update geometry 2 (hasil deformasi dari kontak kedua) load 74631 N sebagai input part pada assembly repeated <i>rolling contact</i>	50
Gambar 4.29	<i>Von Misses</i> update 2 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N.....	50
Gambar 4.30	<i>Von Misses</i> bentuk <i>line</i> update 2 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N	51
Gambar 4.31	Plane update geometry 3 (hasil deformasi dari kontak ketiga) load 74631 N sebagai input part pada assembly repeated <i>rolling contact</i>	51
Gambar 4.32	<i>Von Misses</i> update 3 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N.....	52
Gambar 4.33	<i>Von Misses</i> bentuk <i>line</i> update 3 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N	52
Gambar 4.34	Plane update geometry 4 (hasil deformasi dari kontak keempat) load 74631 N sebagai input part pada assembly repeated <i>rolling contact</i>	53
Gambar 4.35	<i>Von Misses</i> update 4 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N.....	53
Gambar 4.36	<i>Von Misses</i> bentuk <i>line</i> update 4 hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N	54

Gambar 4.37	Plane update geometry 1 (variasi pembebanan) load 74631 N sebagai input part pada assembly repeated <i>rolling contact</i>	55
Gambar 4.38	<i>Von Misses</i> hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 74631 N	55
Gambar 4.39	Plane update geometry 2 (variasi pembebanan) load 80000 N.....	56
Gambar 4.40	<i>Von Misses</i> hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 80000 N	56
Gambar 4.41	Plane update geometry 3 (variasi pembebanan) load 100000 N.....	57
Gambar 4.42	<i>Von Misses</i> hasil pemodelan repeated <i>rolling contact</i> load 100000 N ..	57
Gambar 4.43	<i>Software CONTACT</i>	58
Gambar 4.44	Tangential traction pada 2D carter/fromm problem.....	60
Gambar 4.45	Normal <i>pressure</i> Marek-Kalker- <i>ABAQUS 6.5-1</i>	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan pendekatan klasik <i>rolling contact</i>	15
Tabel 3.1	Penentuan nilai yield stress dan strain (input FEM).	24
Tabel 4.1	Hasil perbandingan antara hertz <i>analytical line contacts</i> dengan FEM <i>ABAQUS 6.5-1</i>	33
Tabel 4.2	Perhitungan nilai <i>yield stress</i> dan <i>strain</i> (regangan).	36
Tabel 4.3	Perbandingan antara bhargava dengan hasil simulasi <i>ABAQUS 6.5-1</i>	44
Tabel 4.4	Hasil pembandingan antara hertz <i>analytical line contacts</i> dengan FEM <i>ABAQUS 6.5-1</i>	45

NOMENKLATUR

Simbol	Keterangan	Satuan
a	Jari-jari kontak	[mm]
R	Radius indentor	[mm]
E	Modulus elastisitas material	[MPa]
E^*	Modulus elastisitas efektif	[MPa]
e	<i>Exponential</i>	[-]
F_N	Gaya arah normal	[N]
i	<i>Increment</i>	[-]
P	Tekanan	[N]
s	Jarak <i>sliding</i>	[mm]
ν	<i>Poisson's ratio</i>	[-]
V	Volume	[mm ³]
μ	Koefisien gesek	[-]
R^*	Radius efektif	[mm]
σ	Tegangan	[MPa]
ε	Regangan	[-]
x	Arah sumbu vertikal	[-]
y	Arah sumbu horisontal	[-]
ω	Kecepatan <i>angular</i>	[rad/s]
δ	<i>Displacement</i>	[mm]