

PEMODELAN KEAUSAN *PIN-ON-DISC* DENGAN ANALISA ELEMEN HINGGA

I. Syafa'at^{*1)}, Jamari²⁾,
S.A. Widyanto²⁾ dan
R. Ismail²⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknik Universitas Wahid
Hasyim
Jln. Menoreh Tengah X/22
Sampangan Semarang 50236
²⁾ Jurusan Teknik Mesin
Universitas Diponegoro, Semarang
Jln. Prof. Sudarto S.H.
Tembalang, Semarang 50275
^{*)} email: i.syafaat@gmail.com

Dunia engineering tidak bisa dilepaskan dari mekanisme perkontakan antara komponen mesin yang satu dengan yang lain. Berbagai masalah dapat timbul akibat kontak ini, diantaranya adalah keausan. Pemodelan keausan pin-on-disc antara baja dengan baja dimodelkan dengan analisa elemen hingga (FEA). Kontak sliding disederhanakan menjadi model 2D dengan input sifat-sifat material berbantuan software ANSYS. Hasil simulasi berupa tekanan kontak rata-rata digunakan untuk menghitung keausan Model Archard. Updating geometry dilakukan untuk mengetahui besarnya keausan yang terjadi pada pin. Hasil pemodelan menunjukkan jari-jari kontak dan keausan mengalami peningkatan sangat signifikan pada tahap awal, kemudian mencapai kestabilan seiring dengan bertambahnya jarak sliding. Kestabilan tercapai setelah menempuh jarak sliding 80405 mm. Fenomena kestabilan aus ini memperlihatkan bahwa sistem telah berada dalam fase steady state setelah melewati running-in dalam aplikasi pemesinan.

Kata kunci: keausan, pin-on-disc, updating geometry, FEA

PENDAHULUAN

Penggunaan bantuan perangkat lunak dalam kaitannya dengan tribologi, semakin sering dipakai dalam mereduksi kerugian-kerugian dalam sistem rekayasa, peningkatan efisiensi energi serta penentuan umur pakai sebuah komponen, khususnya untuk komponen dengan pembebanan gaya yang besar dan pergerakan yang cepat. Ketika dua permukaan mengalami kontak di bawah pembebanan dan bergerak relatif terhadap yang lain, maka perubahan kondisi permukaanpun akan terjadi. Fenomena semacam inilah yang membuat para peneliti menggunakan bantuan perangkat lunak untuk menyelesaikan problem *engineering* yang rumit.

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method - FEM*) adalah sebuah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *engineering* dan problem matematis dari suatu gejala fisik. Tipe masalah *engineering* dan matematis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga ini terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisa struktur dan kelompok non struktur (Logan, 2007). Analisa dalam metode elemen hingga juga dikenal dengan sebutan *finite element analysis* (FEA). Dalam persoalan-persoalan yang menyangkut geometri yang rumit, seperti persoalan pembebanan terhadap struktur yang kompleks, pada umumnya sulit dipecahkan melalui analisa matematis. Hal ini disebabkan karena dalam analisa matematis

memerlukan besaran atau harga yang harus diketahui pada setiap titik dalam struktur yang dikaji. Penyelesaian analisis dari suatu persamaan diferensial suatu geometri yang kompleks dan pembebanan yang rumit, sangat tidak mudah diperoleh. Dengan analisa elemen hingga ini, permasalahan seperti di atas dapat diselesaikan. Metode ini menggunakan pendekatan harga-harga yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit (diskritisasi), yaitu dengan membagi-bagi benda dalam bagian yang kecil yang secara keseluruhan memiliki sifat yang sama dengan benda utuh sebelum terbagi.

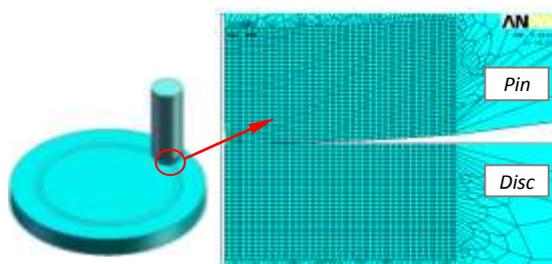
Penggunaan simulasi dengan FEM untuk kajian keausan telah dilakukan Podra dan Andersson (1999). Mereka melakukan penelitian keausan dengan FEA dan divalidasi dengan eksperimen *pin-on-disc*, dengan asumsi bahwa aus hanya terjadi pada pin saja. Penelitian ini merupakan pengembangan Model Archard (1953). Sedangkan Öqvist (2001) memodelkan sebuah kontak antara *roller* silindris dengan *plate*. Hegadekatte (2008) menampilkan *Global Incremental Wear Model* (GIWM). Dalam penelitiannya, permulaan untuk mencari keausan *disc* menggunakan jari-jari kontak awal dengan formula dari Hertz (1882). Serupa dengan Podra dan Andersson (1999), dia juga mengembangkan Model Archard (1953). Strömberg (1999) menggunakan formulasi elemen hingga untuk keausan thermoelastis, de Saracibar dan Chiumenti

(1999) menampilkan sebuah model numeris untuk mensimulasikan perilaku keausan gesek dalam kondisi nonlinear kinematis. Molinari *et al.* (2001) memodifikasi model Archard (1953) pada kekerasan dari material yang lebih lunak dengan kelonggaran dari sisi fungsi suhu, evolusi permukaan karena aus dan adanya kontak gesekan. Zhu *et al.* (2007) menginvestigasi keausan pada daerah *mixed lubrication*. Mukras dkk. (2009) meneliti tentang pemodelan kontak konformal yang mengembangkan penelitian Kim *et al.* (2005).

Berbagai penelitian tentang keausan yang telah dilakukan. Pada umumnya penelitian tersebut berdasar dari model keausan yang dibangun oleh Archard (1953). Meskipun membutuhkan waktu yang relatif lama, penggunaan simulasi FEA dengan bantuan *software* dalam merumuskan keausan ini membutuhkan biaya yang murah. Hal ini disebabkan simulasi FEA tanpa menggunakan seperangkat alat uji dan juga spesimen. Keunggulan yang lain adalah hasil analisa bisa langsung dilihat dengan simulasi. Sedangkan pada metode analitik yang berupa formulasi angka-angka, disamping membutuhkan pemahaman konsep-konsep dasar dan penguasaan rumus dalam menganalisa sebuah kasus, hasil plot tidak bisa langsung terlihat sebagaimana pada FEA. Untuk itu perlu dikembangkan penelitian tentang pemodelan keausan pada kontak *sliding* dengan FEA yang berbasis pada geometri awal dan *updated geometry*. Hasil FEA ini akan dibandingkan dengan model analitik GIWM Hegadekatte (2008).

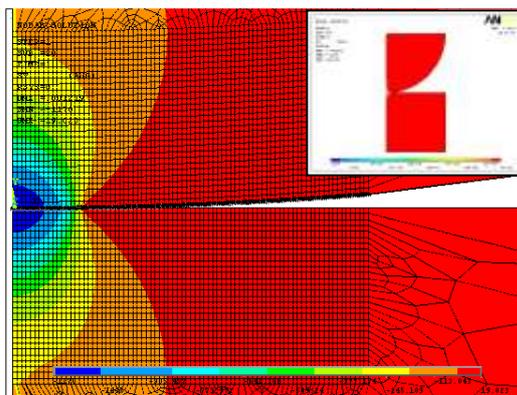
PEMODELAN PIN-ON-DISC

Pemodelan FEA untuk pengujian keausan *pin-on-disc* antara baja dengan baja dibuat dengan penyederhanaan geometri *pin* dan *disc* (piringan) dengan model 2D, seperti terlihat dalam Gambar 1. Untuk menghemat waktu proses iterasi, dengan tidak mengesampingkan keakuratan data, *mesh* pada daerah kontak saja yang dibuat lebih halus. Pin dengan ujung berbentuk bola yang diputar di atas *disc*, dimodelkan dalam bentuk seperempat lingkaran *axisymmetric*. Tipe elemen yang digunakan ialah PLANE82 dengan 8 *node*, elemen target TARGE169, elemen kontak CONTA175 (ANSYS, 2006).



Gambar 1. Pemodelan *pin-on-disc* dan geometri pembesaran daerah kontak dengan *meshing* yang lebih halus.

Diskritisasi model ini terdiri dari 5757 elemen dan 16999 *node*. Sedangkan jumlah *node* yang kontak sejumlah 16 buah saat permulaan simulasi kontak (lihat Gambar 2). Pembebanan dengan (F_N) 15 N serta radius pin (R) adalah 5 mm. Baik material pin (notasi angka subskrip 1) maupun *flat* (notasi angka subskrip 2) mempunyai modulus elastisitas sama, E_1 dan E_2 sebesar 213 GPa, *Poisson's ratio* ν_1 dan ν_2 0,3. Simulasi ini menggunakan koefisien gesek 0. Verifikasi model dengan Hertz (1882) menunjukkan deviasi di bawah 1,5% untuk tekanan kontak maksimal (p_o) dan jari-jari kontak (a), seperti terlihat dalam Tabel 1. Dalam Gambar 2 diperlihatkan kontur distribusi tegangan arah vertikal (y) pada saat inisial *sliding*. Terlihat bahwa tegangan terpusat pada posisi tengah pin dan *disc* dimana tekanan kontak maksimal (p_o) berada. Sedangkan Jari-jari kontak (a) berada pada daerah dengan skala warna biru muda. Hasil validasi tekanan kontak pada posisi sumbu x antara model FEA dengan Hertz (1882) dapat dilihat dalam Gambar 3.



Gambar 2. Gambar pembesaran kontur tegangan arah y saat inisial *sliding*, gambar *insert* adalah tanpa pembesaran.

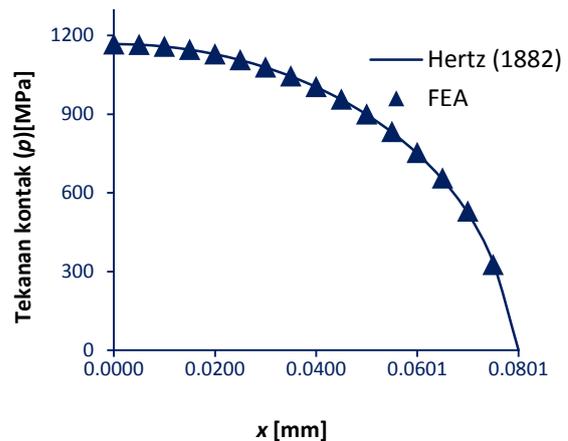
Prosedur pemodelan diawali dengan pembuatan geometri model yang disederhanakan.

Prosedur simulasi ini serupa dengan apa yang dilakukan oleh Ismail dkk. (2010). Pembuatan model ini membutuhkan sifat-sifat material seperti modulus elastisitas (E) dan *Poisson's ratio* (ν). Setelah langkah ini dilakukan, dibuatlah diskritisasi model dengan membagi menjadi elemen-elemen kecil yang disebut dengan *meshing*. Langkah kedua yaitu menentukan jenis perkontakannya, pemberian kondisi batas dan pembebanan.

Tabel 1. Verifikasi FEA *present model* dengan model Hertz (1882) pada $F_N = 15$ N.

Perbandingan	Hertz (1882)	FEA	Deviasi (%)
Tek. kontak maks. (p_o) [MPa]	1167,82	1167,70	0.01
Jari-jari kontak (a) [mm]	0,07833	0,07753	1.03

Langkah selanjutnya adalah pembebanan berupa gaya. Setelah berhasil simulasi dengan sejumlah iterasi, akan diperoleh tekanan kontak rata-rata (p_a). Tekanan kontak rata-rata ini diperoleh dengan menjumlahkan nilai tekanan kontak pada masing-masing *node* kemudian membaginya dengan jumlah *node* yang saling kontak. Hasil p_a ini kemudian dijadikan input untuk menghitung keausan Archard (1953) berupa h^w . Langkah berikutnya setelah mendapatkan besaran keausan (h^w) adalah membuat simulasi lagi dengan penekanan berupa beban *displacement* (UY). Besarnya *displacement* ini sesuai dengan besarnya keausan (h^w) dengan memperhitungkan jari-jari kontak (a). Hasil deformasi ini kemudian disimpan untuk kemudian diambil lagi pada simulasi berikutnya. Demikian langkah-langkah tersebut dilakukan secara berulang hingga mencapai jarak *sliding* yang diinginkan dan mendapat nilai keausan yang diharapkan. Kondisi batas dan pembebanan dalam setiap simulasinya sama dengan saat simulasi awal. Untuk diketahui bahwa setiap simulasi, geometri *disc* masih utuh seperti pada keadaan awal simulasi. Disini diasumsikan bahwa geometri pin saja yang hanya mengalami keausan, sehingga *updating geometry* dilakukan hanya pada pin saja. Semua proses pembuatan model dan pembebanan menggunakan *ANSYS Parametric Design Language* (APDL), yang merupakan bahasa program untuk perangkat lunak ini. APDL untuk pemberian *load* pada pemodelan *pin-on-disc* dapat dilihat dalam Lampiran di bagian akhir makalah ini.

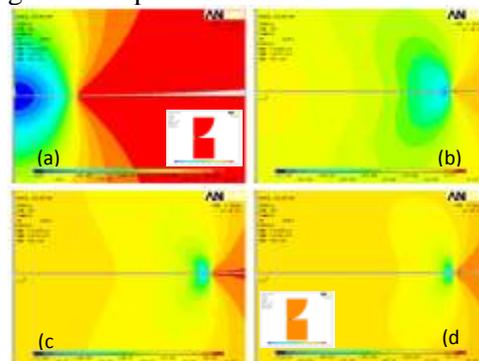


Gambar 3. Validasi pemodelan FEA dengan Hertz (1882).

Studi pemodelan keausan berbasis FEA ini menggunakan *software* ANSYS 12.0 dengan sebuah komputer kapasitas RAM 8 GB dan processor *Core 2 Quad* kapasitas 2.40 GHz. Penelitian dilakukan di Lab. *Engineering Design and Tribology* Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

HASIL DAN PEMBAHASAN

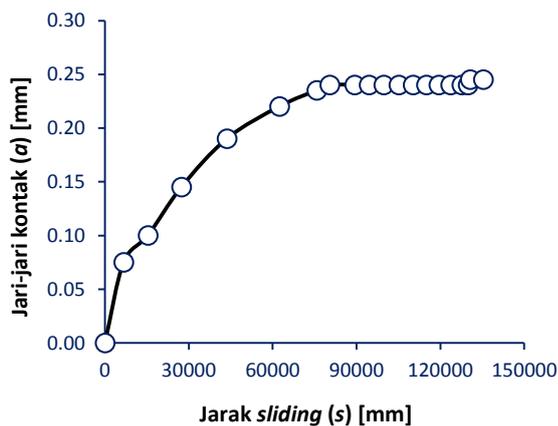
Pemodelan dengan simulasi FEA pada studi *pin-on-disc* dengan metode kontak statis memperlihatkan hasil yang menarik seperti terlihat pada Gambar 4. Pada saat jarak *sliding* $s = 0$ mm pada Gambar 4 (a) terlihat bahwa kontur distribusi tegangan vertikal (arah y) terpusat pada ujung pin, kemudian menyebar ke tepi sekeliling daerah kontak. Pada inisial *sliding* ini, hasil plot distribusi tegangan arah y sangat berhimpit dengan kontak elastis Hertz (lihat Johnson, 1985 hal. 60) seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 terdahulu. Pada jarak *sliding* $s = 80405$ mm konsentrasi tegangan bergeser ke tepi daerah kontak.



Gambar 4. Kontur sebaran tegangan arah y pada (a) $s = 0$ mm, (b) $s = 80405$ mm, (c) $s = 99721$ mm, dan (d) $s = 135339$ mm. Gambar *insert* adalah plot tanpa pembesaran pada masing-masing s.

Hal ini terjadi sampai pada $s = 130662$ mm. Hasil yang sama juga dapat dilihat pada Hegadekatte dkk. (2005). Hal ini terjadi karena permukaan di luar daerah kontak mengalami kecenderungan mempertahankan posisi semula akibat dari penerapan kontak statis yang berulang pada model FEA, sehingga konsentrasi tegangan mengumpul pada daerah tepi kontak. Tetapi munculnya tegangan maksimal tersebut tidak terlihat pada hasil simulasi FEA Hegadekatte dkk. (2006) karena jarak *sliding* yang ditempuh masih relatif kecil, yaitu di bawah 80 mm.

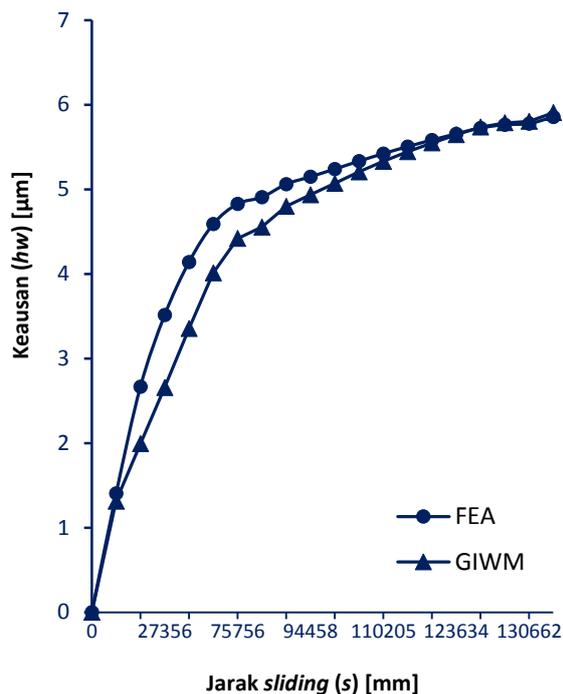
Hasil studi ini juga memperlihatkan konformalitas permukaan yang dapat diidentifikasi melalui kontur sebaran tegangan yang semakin mengecil pada ujung pin. Fenomena pergeseran tegangan ini juga diikuti dengan semakin bertambah besar jari-jari kontak (a), Gambar 5 memperlihatkan fenomena ini.



Gambar 5. Jari-jari kontak versus jarak *sliding*.

Kondisi ini sangat realistis ketika bentuk pin yang makin lama makin tumpul karena pengaruh gesekan pada proses *sliding*, sehingga daerah kontak juga semakin membesar yang ditandai dengan bertambah besarnya jari-jari kontak (a). Pada tahap-tahap awal, jari-jari kontak mengalami peningkatan sangat signifikan. Kestabilan jari-jari kontak mulai terlihat setelah menempuh jarak *sliding* 80405 mm.

Keausan yang terjadi pada ujung pin mengalami peningkatan pada tahap-tahap awal kemudian mengalami keadaan stabil setelah menempuh jarak *sliding* sejauh 80405 mm. Keadaan awal ini yang disebut sebagai fase *running-in* dan setelah mengalami kestabilan dikenal dengan terminologi *steady state* (lihat Jamari, 2006).



Gambar 6. Keausan pin model FEA dikomparasi dengan model analitik GIWM Hegadekatte (2008).

Gambar 6 memperlihatkan hasil komparasi pemodelan keausan FEA *present model* dengan model analitik GIWM Hegadekatte (2008). Perbedaan antara kedua model pada fase *running-in* disebabkan adanya model analitik GIWM hanya melibatkan dimensi pin, *load* berupa gaya dan koefisien aus saja dalam memperhitungkan keausan. Sedangkan pada FEA melibatkan beberapa sifat material sehingga lebih terakomodir dalam memperhitungkan keausan. Namun demikian, dalam fase *steady state* perbedaan diantara keduanya tidak terlihat signifikan, mengingat telah stabilnya tekanan kontak sehingga input dari Model Archard (1953) juga menjadi stabil, sebagaimana ditulis Syafa'at dkk. (2011). Fenomena kurva pemodelan keausan seperti terlihat dalam Gambar 6 serupa dengan penelitian Jamari (2006).

KESIMPULAN

Studi tentang pemodelan keausan *pin-on-disc* dengan analisa elemen hingga telah ditampilkan. Pin yang diberi *load* berupa gaya 15 N diletakkan di atas *disc*. Kontak *sliding* yang terjadi antara baja dengan baja ini disederhanakan menjadi model 2D dengan input sifat-sifat material berbantuan *software* ANSYS. Hasil simulasi berupa tekanan kontak rata-rata digunakan untuk menghitung keausan Model Archard (1953).

Updating geometry dilakukan untuk mengetahui besarnya keausan yang terjadi pada pin. Hasil pemodelan menunjukkan jari-jari kontak mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jarak *sliding*. Pada tahap awal, peningkatan jari-jari kontak sangat tajam, kemudian mencapai kestabilan. Keausan yang terjadi juga meningkat tajam pada tahap awal kemudian mengalami kestabilan setelah menempuh jarak *sliding* 80405 mm. Komparasi FEA *present model* dengan model analitik GIWM Hegadekatte (2008) memperlihatkan kecenderungan serupa. Fenomena kestabilan aus ini memperlihatkan bahwa sistem telah berada dalam fase *steady state* setelah melewati *running-in* dalam aplikasi pemesinan.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS (2006), *ANSYS Contact Technology Guide Release 10.0*, ANSYS, Inc. Southpointe 275 Technology Drive, Canonsburg, PA 15317
- Archard, J. F. (1953), Contact and rubbing of flat surfaces, *J. Appl. Phys.*, **24**, 981-988
- de Saracibar, C. A. and Chiumenti, M. (1999) On the numerical modeling of frictional wear phenomena, *Comput. Methods Appl. Mech. Engg.*, **177**, 401-426
- Hegadekatte, V., Huber, N. and Kraft, O. (2005), "Development of a simulation tool for wear in microsystems", in *Advanced Micro and Nano Systems - Micro-engineering in Metals and Ceramics Design Part II*, ed. Löhe, D., Haußelt, J.H. Baltes, H., Brand, O., Fedder, G.K., Hierold, C., Korvink, J.G. and Tabata, O., Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany, 605-624
- Hegadekatte, V., Huber, N. and Kraft, O. (2006), "Finite element based simulation of dry sliding wear", *Tribology Letters*, **24**, 51-60
- Hegadekatte, V., Kuzenhäuser, S., Huber, N., and Kraft, O. (2008), A predictive modeling scheme for wear in tibometers, *Tribol. Intr.*, **41**, 1020-1031
- Hertz, H. (1882), *Über die berührung fester elastische körper und über die harte* (On the contact of rigid elastic solids and on hardness), *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses*, Leipzig, Nov 1882.
- Ismail, R., Tauviqirrahman, M., Syafa'at, I., Jamari, and Schipper, D.J. (2010), "The application of updating geometry model in finite element analysis for predicting the running-in wear on sliding contact", *8th ASEAN ANSYS Conference 2010*, Singapore, 12-13 Oktober 2010.
- Jamari (2006), *Running-in of Rolling Contacts*, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands
- Johnson, K. L. (1985), *Contact Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Kim, N., Won, D., Burris, D., Holtkamp, B., Gessel, G.R., Swanson, P., and Sawyer, W.G. (2005), "Finite element analysis and experiments of metal/metal wear in oscillatory contacts", *Wear*, **258**, 1787 – 1793
- Kónya, L., Váradi, K., and Friedrich, K. (2005), Finite element modeling of wear process of a peek-steel sliding pair at elevated temperature, *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering*, **49**, 25-38
- Logan, D.L. (2007), *A First Course in the Finite Element Method 4th Ed. (International Student Edition)*, Thomson, Canada.
- Molinari, J. F., Ortiz, M., Radovitzky, R., and Repetto, E. A. (2001), Finite element modeling of dry sliding wear in metals, *Engg. Comput.*, **18**, 592-609
- Öqvist, M. (2001), "Numerical simulations of mild wear using updated geometry with different step size approaches", *Wear*, **249**, 6-11
- Podra, P. and Andersson, S. (1999), Simulating sliding wear with finite element method, *Tribol. Int.*, **32**, 71-81
- Strömberg, N. (1999), Finite element treatment of two-dimensional thermoelastic wear problems, *Comput. Methods Appl. Mech. Engg.*, **177**, 441-455
- Syafa'at, I., Jamari, Widyanto, S.A., dan Ismail, R. (2011), "Studi perilaku tekanan kontak pada pemodelan keausan *running-in* dan *steady state* dengan pengujian *pin-on-disc*", *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 FT. Unwahas - ISBN. 978-602-99334-0-6*, Kel. D, 55–60.
- Zhu, D., Martini, A., Wang W., Hu, Y., Lisowsky, B., and Wang, Q.J. (2007), Simulation of sliding wear in mixed lubrication, *ASME J. Tribol.*, **129**, 545-552

LAMPIRAN

Seperti telah dijelaskan di awal, bahwa simulasi diawali dengan kontak statis antara pin dan *disc*, kemudian hasil simulasi ini disimpan. Pemberian

load berupa gaya dan setelah simulasi pertama ini berhasil, dilanjutkan dengan *updating geometry*. Berikut ini secara beurutan disajikan APDL untuk pemberian *load* dan *updating geometry*.

1. APDL untuk pemberian load

```
!buka file simulasi sebelumnya
/PREP7
!updating goemetry
UPGEOM,1,LAST,<sub step>,<nama
file>,'rst','.<nama folder>'
!hapus kontak
CWZDELE,3,1,"
/MREP,EPLOTT
!hapus load
/SOL
LSCLEAR,ALL
!hapus mesh ujung disc
/PREP7
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,3
FITEM,2,5
ACLEAR,P51X
FLST,5,2,5,ORDE,2
FITEM,5,3
FITEM,5,5
CM,_Y,AREA
!buat mesh baru
ASEL,,,P51X
CM,_Y1,AREA
CHKMSH,'AREA'
CMSEL,S,_Y
AMESH,_Y1
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
!disc angkat ke atas
!cek berapa kenaikannya
NDIST,<klik node ujung pin>,<klik node ujung disc>
/AUTO,1
/REP,FAST
FLST,3,2,5,ORDE,2
FITEM,3,3
FITEM,3,5
AGEN,,P51X,,,<jarak kenaikan>,,,1
EPLOTT
!buat kontak
LPLOTT
LSEL,S,,,<pilih garis ujung disc>
NSLL,R,1
LPLOTT
!buka kontak manajer,
!klik garis untuk target
ALLSEL,ALL
LPLOTT
LSEL,S,,,<pilih garis ujung pin>
NSLL,R,1
LPLOTT
```

```
!klik garis untuk contact
!masukkan ID contact
ALLSEL,ALL
LPLOTT
FINISH
!solusi
/SOL
NSUBST,20,0,0
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,0
PRED,0
TIME,1
/AUTO,1
/REP,FAST
FLST,2,4,4,ORDE,4
FITEM,2,3
FITEM,2,6
FITEM,2,10
FITEM,2,16
/GO
DL,P51X,,UX,
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,5
/GO
DL,P51X,,ALL,
FLST,2,1,3,ORDE,1
FITEM,2,2
/GO
FK,P51X,FY,-15
LSWRITE,1,
LSSOLVE,1,1,1,
!tunggu iterasi selesai
/POST1
/EFACET,1
!pilih garis di ujung pin
LSEL,S,,,<pilih garis ujung pin>
NSLL,R,1
/EFACET,1
PLNSOL,S,Y,0,1.0 !print stress arah y
PRNSOL,S,COMP !print jari-jari kontak dan hmax
PRNLD,FY,,CONT !print nodal load contact Fy
!simpan 3 file list di excel
!ambil Pmax, Pa, Pi, delta hmax
ALLSEL
LPLOTT
FINISH

2. APDL untuk updating geometry
!buka file
ALLSEL

/SOLU
!hapus load
LSCLEAR,ALL
LPLOTT
/SOL
!buat load baru
```

```

NSUBST,30,0,0
OUTRES,ERASE
OUTRES,ALL,1
AUTOTS,0
TIME,1
/AUTO,1
/REP,FAST
FLST,2,4,4,ORDE,4
FITEM,2,3
FITEM,2,6
FITEM,2,10
FITEM,2,12
/GO
DL,P51X, ,UX,
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,2
/GO
DL,P51X, ,ALL,
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,12
FLST,2,1,4,ORDE,1
FITEM,2,12
/GO
!naikkan disc sebesar perkiraan
DL,P51X, ,UY,<masukkan angka>
LSWRITE,1,
LSSOLVE,1,1,1,
!lihat hasil
/POST1
PLNSOL, S, Y, 0,1.0
SET,,,,,,,,,30
PRNLD,FY,,CONT
NDIST,<pilih node ujung daerah kontak>,<pilih node
akhir kontak>
!cari jari-jari kontak (a) yg mendekati dg (a) GIWM
ALLSEL
LPLOT
FINISH
    
```