

## ANALISA KEAUSAN *STEADY STATE* PADA KONTAK *PIN-ON-DISC* DENGAN SIMULASI ELEMEN HINGGA

**F.N. Maulana,  
I. Syafa'at,  
Darmanto**

Jurusan Teknik Mesin,  
Fakultas Teknik Universitas Wahid  
Hasyim  
Jln. Menoreh Tengah X/22  
Sampangan Semarang 50236

email:  
[akhfauzan\\_04@yahoo.com](mailto:akhfauzan_04@yahoo.com)  
[i.syafaat@gmail.com](mailto:i.syafaat@gmail.com)  
[darmanto\\_uwh@yahoo.co.id](mailto:darmanto_uwh@yahoo.co.id)

*Mekanisme kontak antara komponen yang satu dengan yang lain dapat terjadi dalam komponen mesin. Hal ini akan mengakibatkan berbagai masalah, diantaranya adalah keausan. Dalam kontak sliding, para peneliti membagi keausan menjadi tiga fase, yaitu: running-in, steady state (fase tunak) dan wear out. Pada fase steady state, penyesuaian laju keausan, tekanan kontak, kekasaran permukaan, dan konformalitas permukaan yang saling kontak telah mencapai kondisi yang stabil. Analisa keausan pin-on-disc antara baja dengan baja dimodelkan dengan metode elemen hingga (FEM). Kontak sliding disederhanakan menjadi model asperity 2D dengan input sifat-sifat material menggunakan software ABAQUS. 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 38125 mm. Fenomena kestabilan ini memperlihatkan bahwa sistem telah berada dalam fase steady state setelah melewati running-in dalam aplikasi pemesinan.*

**Kata kunci** : keausan, pin-on-disc, steady state, ABAQUS, metode elemen hingga

### PENDAHULUAN

Keausan ini merupakan sebuah hal yang mendasari tentang konsep Tribologi. Tribologi didefinisikan sebagai ilmu yang membahas tentang gesekan, keausan, pelumasan yang terjadi pada proses gerak benda di dunia ini. Keausan merupakan salah satu faktor yang diperhitungkan dalam dunia industri, akibat yang terjadi bisa sangat fatal, karena panas yang diakibatkan oleh gesekan akan menyebabkan sifat material benda menjadi lunak, sehingga akan merubah struktur material maupun permukaan kontak dari material. Oleh sebab itu, pengamatan yang akurat dari perubahan yang cepat pada proses terjadinya kontak permukaan yang diakibatkan gesekan serta pengendalian terhadap hal yang terjadi tersebut merupakan langkah yang tepat untuk mengurangi biaya perbaikan akibat kerusakan/ kegagalan komponen. Dari hal ini, kita dapat menyimpulkan bahwa keausan pada material sejatinya dapat kita kontrol, atau dapat dikendalikan, yaitu dengan mengetahui serta menganalisis material tersebut kapan akan stabil dari panas, keausan, maupun terjadinya deformasi. Sehingga faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan pada komponen dapat ditanggulangi dengan baik.

Analisis terhadap gesekan dan keausan dapat dicari menggunakan beberapa metode diantaranya melalui metode penelitian secara Eksperimental; yaitu dengan cara menguji secara langsung spesimen yang di Analisis, kelebihan dari metode ini diantaranya hasil Analisis dapat kita ketahui secara langsung.

Metode Analitik; yaitu dengan menganalisis menggunakan pendekatan rumus- rumus Matematik. Terakhir yaitu menggunakan metode Simulasi dengan bantuan *software*, dimana simulasi pada spesimen dilakukan dengan menggunakan *software*.

Saat ini metode komputerisasi sudah sangat mendukung untuk menganalisis terjadinya keausan yang diakibatkan oleh gesekan melalui *Finite Element Methode* (FEM). Keunggulan yang lain dari Penggunaan *software* adalah hasil analisis 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 juga tidak bisa langsung terlihat sebagaimana pada FEM (Syafa'at, 2010).

Simulasi yang dilakukan dalam analisis *sliding wear* pada *pin-on-disc* bermanfaat sebagai langkah *preventif* terhadap keausan yang akan terjadi pada komponen, sehingga pada kondisi nyata dapat dilakukan pencegahan dari kegagalan komponen karena sebab kerusakan yang diakibatkan keausan permukaan kontak.

Dengan prediksi hal-hal tersebut, maka umur pakai (*life time*) dari komponen dapat diperkirakan, serta dapat melakukan pengawasan (*controlling*) jika terjadi masalah lain yang berkaitan dengan keausan. Selain itu, dengan adanya perawatan *preventif* tersebut, akan dapat lebih menghemat biaya (*cost*) untuk perawatan maupun efisiensi energi dengan kinerja mesin yang baik tentunya.

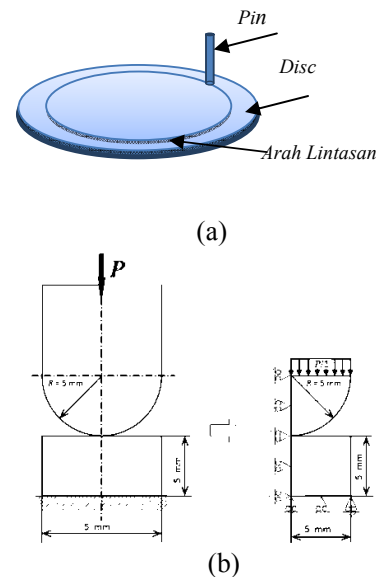
Pemodelan *running-in* telah menjadi studi menarik oleh para peneliti. Kraghelsky dkk (1982) memberikan pemodelan sebuah pendekatan akan perlunya kondisi untuk mencapai keadaan optimal dengan persamaan kekasaran permukaan optimal, yang mana koefisien gesek menjadi sangat rendah. Nilai ini dipengaruhi oleh tegangan geser asperiti, tekanan kontak, faktor kehilangan histerisis yang menggambarkan perubahan dan sifat kekuatan sebagai hasil *sliding*. Faktor ini ditentukan dengan tekanan uniaksial dan percobaan tekan. Model Kraghelsky ini juga melibatkan *Poisson's ratio*  $\nu$  dan *modulus elastisitas*  $E$  dari material.

### PEMODELAN PIN-ON-DISC

Pemodelan kontak ini dikembangkan berdasarkan *thesis* Syafa'at (2010). Penulis mencoba membandingkan hasil simulasi antara penggunaan *software* ABAQUS dengan ANSYS, begitu pula pada tugas sarjana Saputra (2010), Saputra memodelkan *pin-on-disc* namun berbeda pada geometrinya yang sudah menggunakan model 3D. Aplikasi pemodelan *pin-on-disc* ini banyak kita jumpai pada bidang rekayasa diantaranya pada aplikasi *bearing* pada poros kendaraan, mekanisme *crank shaft*, mekanisme *cam shaft* dll. Pemodelan geometri *pin* dibuat sama dengan *thesis* Syafa'at (2010), pada Gambar 3.4 (a) menunjukkan ilustrasi model *pin-on-disc*, sedangkan Gambar 3.4 (b) merupakan alat *Tribometer* yang digunakan untuk analisa *experimental*. Spesifikasi model *pin-on-disc* sebagai berikut: *radius pin* ( $R$ ) adalah 5 mm. Beban ( $F_N$ ) 15 N (lihat pada Gambar 3.5). Baik material *pin* maupun *disc* mempunyai *modulus elastisitas* sama,  $E_P$  dan  $E_D$  sebesar 213 GPa, *Poisson's ratio*  $\nu_P$  dan  $\nu_D$  sebesar 0,3. Sedangkan koefisien aus ( $K_{H_2}$ ) antara baja dengan baja sebesar  $2,7E-10$  mm<sup>3</sup>/Nmm. Simulasi ini menggunakan koefisien gesek 0, mengapa kita memilih nominal

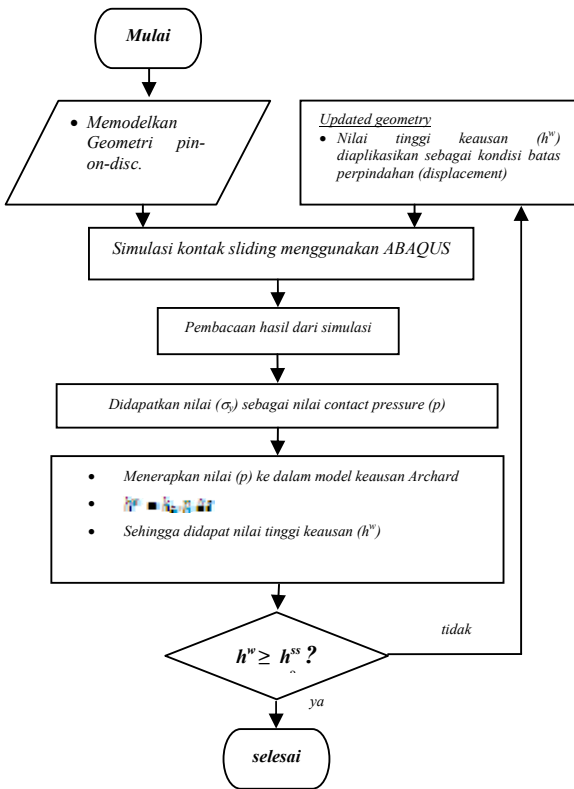
0 karena gesekan kita abaikan. Verifikasi model dengan Hertz (1882) menunjukkan deviasi di bawah 2% untuk tekanan kontak maksimal ( $F_{max}$ ) dan jari-jari kontak ( $a$ ). Sedangkan perbedaan tekanan kontak rata-rata ( $F_a$ ) model di atas 3%, hal ini disebabkan oleh pengaruh *meshing*. Namun demikian perbedaan ini dapat diabaikan karena penggunaan tekanan kontak rata-rata pada awal simulasi dapat menggunakan nilai 2/3 dari tekanan kontak maksimal Hertz dari hasil FEM (Hegadekatte dkk., 2006). Dengan demikian perbedaan antara keduanya masih dibawah 2%.

Spesifikasi komputer yang digunakan untuk simulasi oleh penulis adalah AMD Athlon X2-QL64 Dual core processor dengan RAM dua gigabyte (2GB) dan waktu yang ditempuh untuk sekali *running* sekitar lima belas menit, sedang jumlah simulasi bergantung dari tinggi keausan ( $h^w$ ) sampai menempuh tinggi keausan saat *steady state* ( $h^{w-ss}$ )



**Gambar 1.** (a) Model *pin-on-disc* pada kontak *sliding*  
(b) Geometri pemodelan *elastic pin-on-disc*

Proses keausan dimulai dengan menyelesaikan analisa kontak statis tiga dimensi (3D) antara dua benda yang dapat terdeformasi dengan *sliding* yang sangat kecil untuk memasukkan munculnya efek *asymmetric* dari gesekan antara permukaan *sliding*. Penyelesaian semua ini dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* ABAQUS.

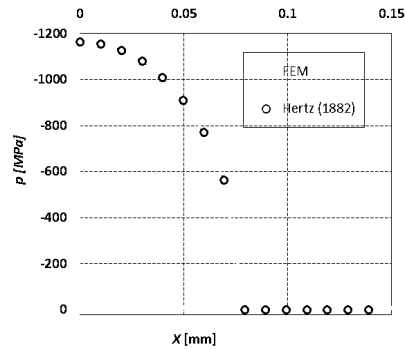


**Gambar 2.** Diagram alir untuk simulasi keausan FEM

Setelah simulasi FEM dilakukan, maka akan kita dapatkan hasil berupa tegangan searah sumbu-y ( $\sigma_y$ ) disaat statis dan nilai tersebut digunakan dalam persamaan model keausan Archard sebagai nilai *contact pressure* ( $p$ )

$$h^w = k_D \cdot p \cdot \Delta s \quad (3.5)$$

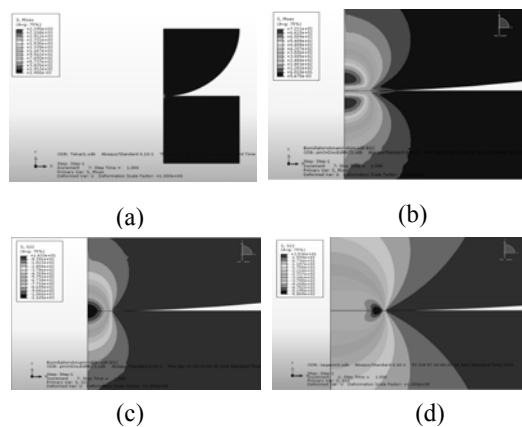
dimana  $h^w$  adalah nilai tinggi keausan dalam  $\mu\text{m}$ , untuk variabel  $k_D$  adalah nilai konstan yang didapat dari hasil pengujian yaitu  $2,7\text{E-}9 \text{ mm}^3/\text{Nmm}$  untuk material baja dan nilai dari variabel  $\Delta s$  adalah jarak *sliding* tertentu dalam (mm). Dengan memasukkan beberapa parameter yang terdapat dalam model, seperti Modulus Elastisitas, *Poisson's ratio*, *radius* serta pembebanan (*concentrated force*) akan dilakukan perbandingan tekanan kontak antara hasil analitik dengan hasil simulasi elemen hingga dengan menggunakan metode *line contacts* (*Hertz analytical solution*). Untuk kondisi kontak elastis antar *rigid cylinder* dengan *plane strain* yang dimodelkan *elastic* dan kondisi luluh (*yield*) terjadi berdasarkan kriteria luluh *Von Mises*, beban kontak yang diberikan pada *present model* sebesar  $P = 15 \text{ N}$ .



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

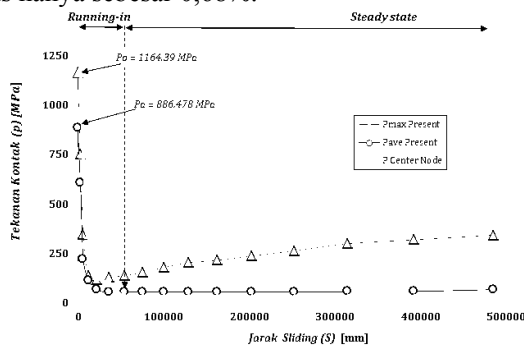
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pemodelan dengan simulasi FEA pada studi *pin-on-disc* terlihat bahwa kontur distribusi tegangan vertikal (arah y) terpusat pada ujung pin, kemudian menyebar ke tepi sekeliling daerah kontak. Selanjutnya tegangan akan semakin bergeser kearah luar tepi daerah kontak, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4 (d). Ketika inisial sliding ini, hasil plot distribusi tegangan arah y sangat berhimpit dengan kontak elastis Hertz (lihat Johnson, 1985 hal. 60). Pada jarak sliding  $s = 2922 \text{ mm}$  konsentrasi tegangan bergeser ke tepi daerah kontak. Hal ini terjadi sampai pada  $s = 486198 \text{ mm}$ . Munculnya pergeseran pusat tegangan dan munculnya tegangan maksimal pada tepi daerah kontak ini juga dapat ditemukan oleh para peneliti sebelumnya, yaitu Jamari (2006) dan Saputra (2010) dengan menggunakan *software* yang sama yaitu ABAQUS. Sedangkan dengan *software* ANSYS juga dapat ditemui dalam penelitian Syafa'at (2010).



**Gambar 4.** Kontur sebaran tegangan arah y pada (a) Present model *pin-on-disc* untuk kontak statis elastis (b) *Distribusi tegangan von mises*, (c)  $s = 0$  mm, dan (d) 54629 mm.

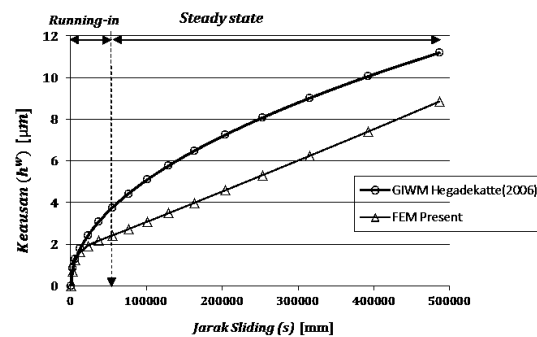
Semakin meningkatnya jarak sliding maka tekanan kontak akan semakin stabil. Pada jarak sampai dengan  $s = 2922$  mm, tekanan maksimal ( $P_{max}$ ) berada pada ujung pin. Setelah jarak tersebut terlewati, terjadi perbedaan yang signifikan antara tekanan maksimal dan tekanan pada ujung pin. Pada Gambar 5, tekanan kontak rata-rata mulai mengalami kestabilan pada kisaran 52,453 MPa pada  $s^{SS} = 54629$  mm saat kedalaman aus  $h^{W-SS}$  2,426  $\mu\text{m}$  (lihat juga Gambar 6). Perbedaan antara tekanan awal dan akhir (fluktuasi) mencapai di bawah 4%. Ini merupakan tahap berakhirnya *running-in* dan dimulainya *steady state* (lihat Hsu dkk., 2005) dalam definisi *steady state*. Sedangkan laju keausan ( $h^W/s$ ) juga mulai mengalami kestabilan setelah jarak sliding ini tercapai. Pada tahap *running-in* laju keausan menurun tajam, kemudian mengalami stabil dengan penurunan laju aus hanya sebesar 0,68%.



**Gambar 5.** Plot tekanan kontak *center node*, tekanan kontak maksimal dan tekanan kontak rata-rata pada *present model pin-on-disc* serta fase tunak (*steady state*)

Hasil plot keausan ( $h^W$ ) menunjukkan pada tahap *running-in*, yaitu pada saat terjadi keausan sangat tinggi dan kemudian menjadi lebih stabil pada fase tunak (*steady state*). Jika kita baadingkan dengan model GIWM menunjukkan besaran keausan hasil FEM berada di atas GIWM (lihat Gambar 6). Hal ini dapat terjadi karena tekanan rata-rata yang menjadi input pada pemodelan FEM diambil dari pendekatan kontak elastis. Namun untuk jarak *sliding* yang semakin besar, maka hasil keausan GIWM berada di bawah FEM semakin lama semakin terjadi kenaikan diatas FEM.

Hasil yang didapatkan dalam simulasi FEM keausan cenderung lebih stabil pada saat *steady state* dengan penyimpangan (*deviasi*) tekanan kontak rata-rata antara sebelum dan sesudahnya dibawah 3% jika dibandingkan dengan GIWM. *Steady state* ini juga ditandai dengan capaian rata rata keausan yang lebih stabil. Hasil simulasi FEM pada ABAQUS sekali lagi menunjukkan peningkatan keausan hanya sebesar 1,73% sedang GIWM sebesar 3,6% dan semakin lama semakin mengecil sampai 1,26% untuk FEM dan 2,01% untuk GIWM. Secara garis besar sampai dengan jarak  $s = 486198$  mm, keausan masuk dalam *steady state*.



**Gambar 6.** Plot keausan *pin-on-disc* antara GIWM-Hegadekatte (2006) serta FEM *present model*.

Penulis mendapatkan sebuah hal menarik ketika menjalankan simulasi FEM ini yaitu saat metode *updating geometry* dengan kontak statis berulang yang memunculkan tegangan maksimal pada tepi daerah kontak mengalami kesulitan tatkala  $h_{max}$  bernilai negatif. Hal ini disebabkan posisi ujung pin (*center node*) lebih rendah daripada daerah kontak terluar. Sebagai akibat dari  $h_{max}$  bernilai negatif, maka Jarak sliding pun mengalami penurunan. Analisisnya karena semakin lama sliding berlangsung tetapi justru jarak tempuhnya malah semakin berkurang, sehingga pemodelan FEM hanya dapat dilakukan sampai jarak  $s = 486198$  mm

## 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* ABAQUS. 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* 54629 mm. Komparasi FEM *present model* dengan model analitik GIWM Hegadekate (2006) 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

- Archard, J. F. (1953). *Contact and rubbing of flat surfaces*. J. Appl. Phys., 24, 981-988
- Hegadekate, V., Huber, N. and Kraft, O., (2006), "Finite element based simulation of dry sliding wear", *Tribology Letters*, 24, 51-60
- Hegadekate, V. (2006). *Modelling and simulation of dry sliding wear for micromachine applications*. PhD Thesis, University of Karlsruhe, Shaker Verlag, Aachen, Germany.
- Hertz, H. (1882), *Über die berührung fester elastische körper und über die harte* (On the contact of rigid elastic solids and on hardness), *Verhandlungendes Vereins zur Beforderung des Gewerbefleisses*, Leipzig, Nov 1882.
- Hsu, S.M. and Shen, M.C. (2005), "Wear mapping of materials", in *Wear - Materials, Mechanisms and Practice*, ed. Stachowiak, G.W., John Wiley & Sons Ltd., England, 369-423
- Johnson, K.L. (1985), *Contact Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Jamari. (2006), *Running-in of Rolling Contacts*, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands
- Kraghelsky, V., Dobychn, M.N., and Kombalov, V.S. (1982), *Friction and Wear Calculation Methods*, Pergamon Press, Oxford
- Saputra, E. (2010), *Perhitungan Keausan Pin pada Sistem Kontak Sliding Pin-on-disc Menggunakan Metode Analitik dan Metode Elemen Hingga*, Tugas Sarjana, Universitas Diponegoro, Semarang
- Sarkar, A.D. (1980), *Friction and Wear*, Academic Press, London
- Syafa'at, I. (2010), "Permodelan Keausan Steady State", Tesis, Universitas Diponegoro, Semarang.



