

PERHITUNGAN KEAUSAN PADA SISTEM KONTAK *ROLLING-SLIDING* MENGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD*

Eko Saputra¹⁾, Rifky Ismail²⁾, Muhammad Tauviqirrahman²⁾, dan Jamari²⁾

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro

²⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang 50275

e-mail: ekosaputro984@gmail.com

Abstrak

Keausan adalah hilangnya sebagian material dari permukaan yang saling kontak dalam gerak relatif. Ada beberapa jenis kontak, salah satunya adalah kontak rolling-sliding. Dimana kontak rolling yang terjadi disertai dengan sliding, sehingga terjadi slip dan mengakibatkan keausan. Jenis kontak ini dapat ditemui dalam mekanisme pergerakan pasangan kontak roda gigi. Tidak semua jenis keausan merugikan, akan tetapi ada juga yang menguntungkan, misal proses "Running-in". Bagaimanapun juga, keausan penting untuk dipelajari agar dapat diketahui karakteristiknya. Keausan dapat diketahui menggunakan metode eksperimen, analitik dan metode numerik. Dalam paper ini keausan dihitung menggunakan metode numerik yaitu finite element method (FEM). Prosedur pekerjaannya adalah dengan melakukan simulasi kontak untuk mendapatkan contact pressure menggunakan finite element software kemudian contact pressure tersebut disubstitusikan ke persamaan Archard untuk mendapatkan kedalaman keausan. Hasil yang dipresentasikan berupa grafik kedalaman keausan vs jumlah rotasi dan pertumbuhan contact pressure terhadap jumlah rotasi.

Kata kunci: *Keausan, kontak rolling-sliding, contact pressure, finite element method*

PENDAHULUAN

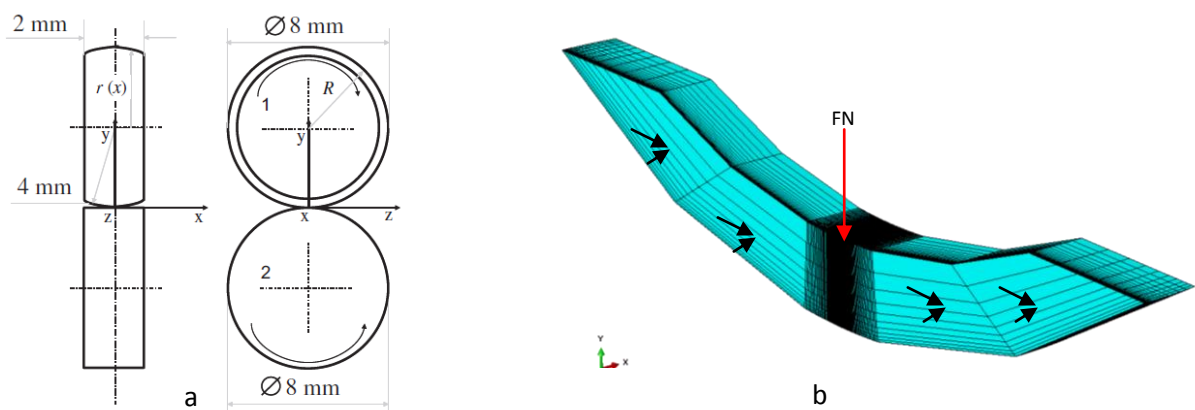
Salah satu permasalahan utama kerusakan komponen permesinan yang saling kontak adalah keausan. Keausan adalah hilangnya sebagian material dari permukaan yang saling kontak dalam gerak relatif. Jenis keausan dapat digolongkan menjadi beberapa macam berdasarkan penyebabnya. Salah satunya adalah keausan karena saling kontak dan termasuk jenis keausan *adhesive*. Tingkat pertumbuhan keausan dapat diketahui dengan melakukan eksperimen, analitik dan numerik [1]. Sebagai contoh, jika ingin mengetahui keausan permukaan kontak antar roda gigi, maka dibuat benda uji yang sama dengan benda sebenarnya. Benda uji tersebut dioperasikan selama ribuan bahkan sampai jutaan siklus yang diinginkan kemudian dihitung pertumbuhan keausannya dengan mengukur perubahan geometri permukaan kontak yang terjadi. Geometri hasil pengukuran dibandingkan dengan geometri awal, sehingga didapat selisih nilai geometri sebagai keausan. Cara demikian dikatakan sebagai cara yang akurat, namun memiliki beberapa kelemahan dipandang dari segi biaya yang mahal dan waktu yang lama. Oleh karena itu, tingkat pertumbuhan keausan biasanya ditentukan secara eksperimen yang lebih sederhana menggunakan *tribometer* seperti *twin-disc rolling/sliding tribometer*. *Tribometer* ini mencoba untuk menirukan sesuai dengan kondisi sebenarnya, dengan menyamakan material dan permukaan kontak yang sama [2].

Metode yang kedua dipandang masih sebagai metode yang mahal, sehingga baru-baru ini dikembangkan metode perhitungan keausan menggunakan FEM. Metode FEM merupakan metode pendekatan dengan bantuan *software* FEM. Metode FEM untuk menghitung keausan telah dilakukan oleh beberapa orang. Podra, P dan Anderson, S. telah melakukan perhitungan keausan *sliding* pada geometri *pin-on-disc* menggunakan FEM [3]. Mona Oqvist melakukan perhitungan keausan pada *a cylindrical steel roller oscillating against a steel plate* menggunakan FEM [4]. Hegadekatte dkk. melakukan perhitungan keausan *sliding* pada *pin-on-disc* menggunakan analitik dan FEM [5]. Kanavalli dkk melakukan perhitungan keausan *rolling-sliding* dengan menggunakan *sub-routine* UMESHMOTION di dalam ABAQUS [2].

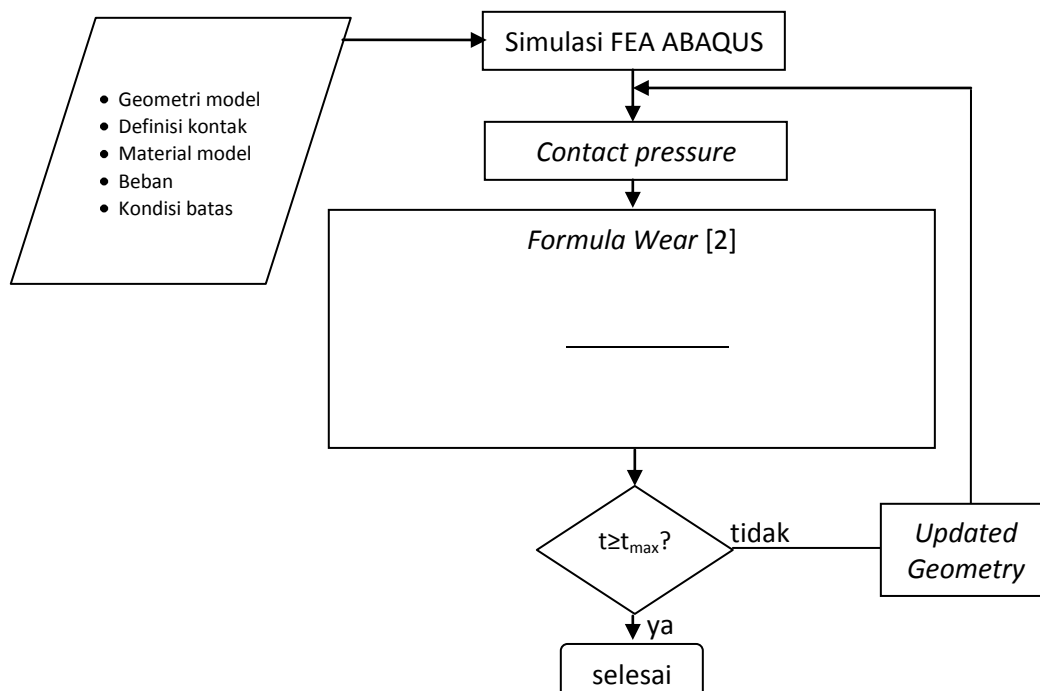
Paper ini bertujuan untuk menghitung tingkat pertumbuhan keausan dengan melakukan simulasi menggunakan *software* FEA. Hasil yang disajikan berupa grafik tingkat pertumbuhan keausan terhadap jumlah rotasi, grafik tingkat pertumbuhan *contact pressure* terhadap jumlah rotasi dan *contact area*, grafik tingkat pertumbuhan *contact area* terhadap jumlah rotasi dan perbandingan kontur tegangan pada daerah kontak.

METODOLOGI

Prosedur pertama kali dalam perhitungan keausan adalah dengan membuat geometri model menggunakan ABAQUS. Geometri yang dibuat adalah geometri pasangan kontak antara dua disk. Disk bagian atas memiliki *hemisphere curvature* dengan jari-jari $R_1 = 4$ mm dan memiliki sifat *deformable* (mampu terdeformasi), sedangkan disk bagian bawah memiliki *cylinder curvature* dengan jari-jari $R_2 = 4$ mm dan memiliki sifat rigid (tak mampu terdeformasi), dapat dilihat pada Gambar 1a. Material yang digunakan adalah material ZrO_2 , memiliki *Young's modulus* $E_1 = E_2 = 152$ GPa, *Poisson's ratio* $\nu_1 = \nu_2 = 0.32$, koefisien gesek $\mu = 0.6$, koefisien keausan $K_D = 1 \times 10^{-9}$ MPa^{-1} . Pemotongan geometri dan *mesh* dilakukan sedemikian rupa dengan tujuan mengurangi waktu iterasi. Beban berupa *force* $F_N = 0.3$ N diterapkan pada disk bagian atas tepat di referensi point yang diberi kopling, serta kondisi batas yang dilakukan seperti pada Gambar 1b. Disk bagian bawah diberi kondisi batas tidak dapat bergerak ke arah sumbu x, y dan z. Disk bagian atas untuk sisi ke arah sumbu x positif diberi kondisi batas x, z, rotasi (x, y, z) tidak dapat bergerak ke arah sumbu manapun. Diagram alir prosedur simulasi perhitungan keausan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1: Geometri kontak, beban, kondisi batas dan mesh



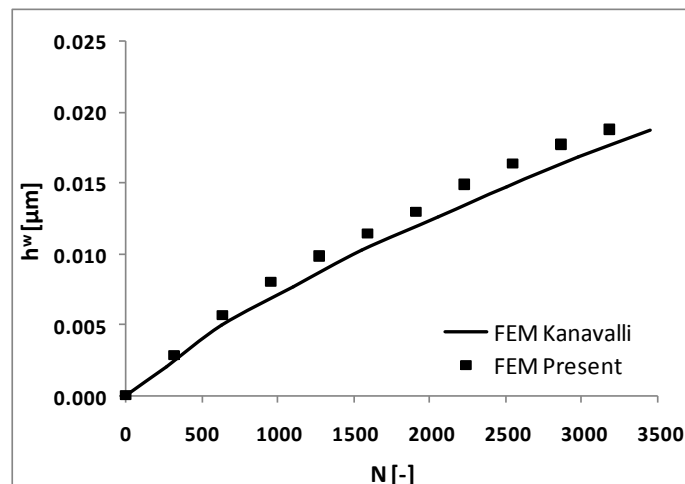
Gambar 2: Diagram alir perhitungan keausan

Geometri yang sudah jadi kemudian disimulasikan sehingga didapatkan *contact pressure* untuk diterapkan pada formula keausan. Setelah mendapatkan keausan pertama, dilakukan *updated geometry* sedemikian rupa sehingga geometrinya sama dengan kenyataan jika terjadi aus. Hasil *updated geometry* kemudian disimulasikan kembali untuk mendapatkan keausan kedua. Hal tersebut dilakukan terus menerus hingga mencapai jumlah rotasi yang diharapkan

HASIL DAN PEMBAHASAN

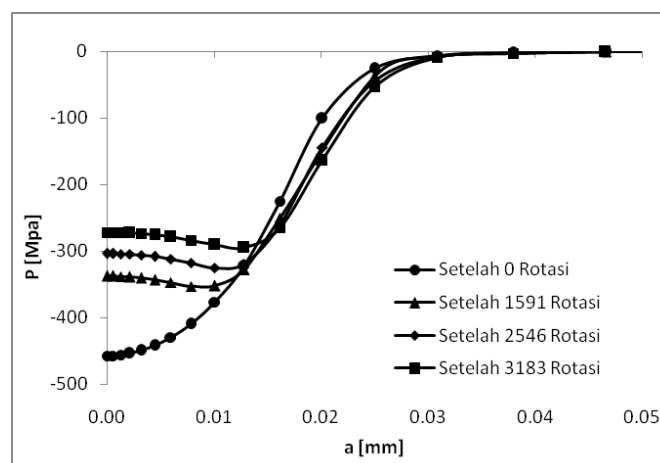
Hasil

Hasil yang didapat adalah grafik tingkat pertumbuhan keausan (h^w) terhadap jumlah rotasi (N). Setelah menempuh 3183 rotasi didapat keausan $0.02 \mu\text{m}$. Ada dua data yang disajikan, yaitu FEM Kanavalli yang didapat dari literatur [2] dan FEM Present yang didapat dari hasil pekerjaan sekarang. Dari perbandingan kedua data tersebut telah menunjukkan kecocokan dengan penyimpangan sekitar 0.1%. Pertumbuhan keausan yang terjadi semakin menurun, lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.

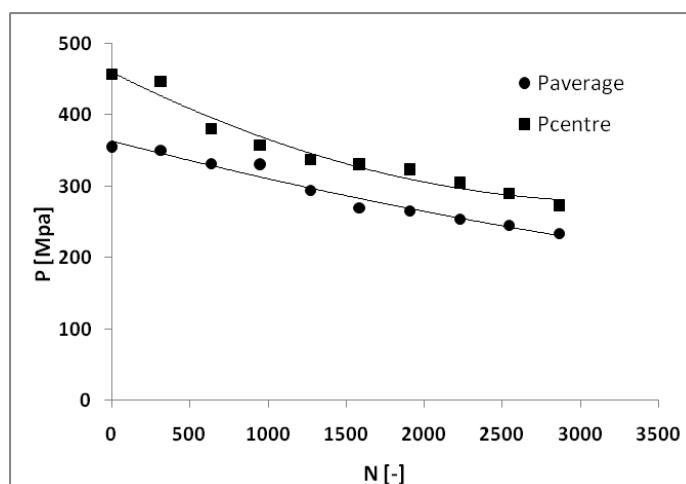


Gambar 3: Grafik keausan

Hasil berikutnya adalah grafik pertumbuhan *contact pressure* (P) terhadap *radius of contact area* (a) dapat dilihat pada Gambar 4. Kemudian grafik pertumbuhan *contact pressure average* (P average) dan *contact pressure at center point* (P center) terhadap jumlah rotasi dapat dilihat pada Gambar 5. Dari kedua grafik tersebut ternyata pertumbuhan tegangan semakin menurun sebanding dengan jumlah rotasi atau jari-jari kontak.

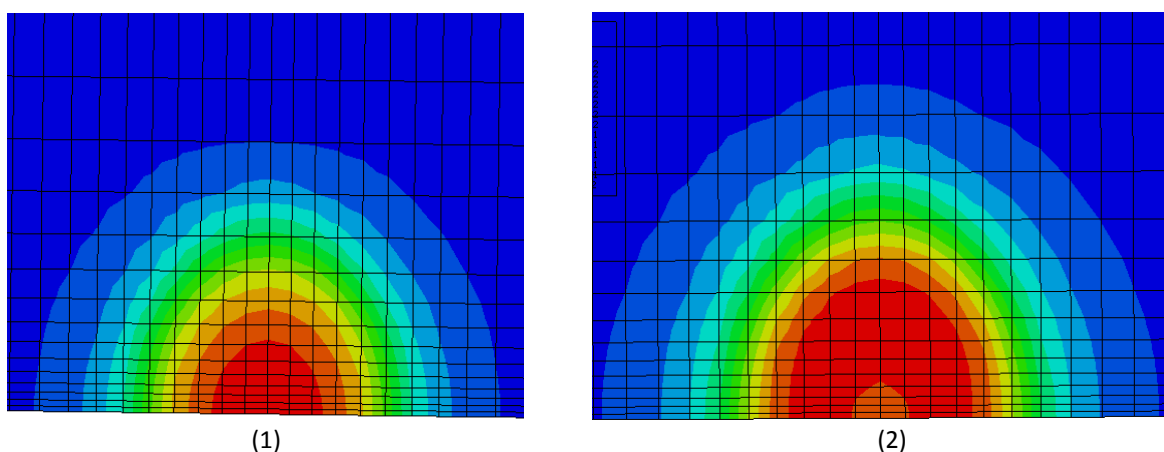


Gambar 4: Grafik pertumbuhan *contact pressure* (P) terhadap *radius of contact area* (a).



Gambar 5: Grafik pertumbuhan *contact pressure average* (P average) dan *contact pressure at center point* (P center)

Kontak antara dua disk menghasilkan tegangan *von mises* yang dapat dilihat kontur tegangannya sebagai berikut pada Gambar 6. Kontur 1 adalah kontur tegangan pada saat menempuh 0 rotasi. Kontur 2 adalah kontur tegangan pada saat menempuh 3183 rotasi. Jika diamati, ternyata ada perubahan kontur tegangan yang terjadi, dimana luas kontur akan semakin membesar sebanding dengan penambahan jumlah rotasi yang telah ditempuh.

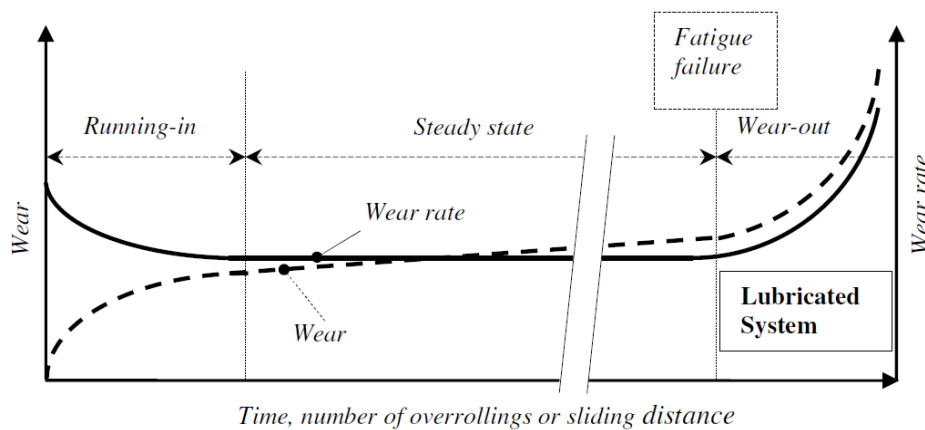


Gambar 6: Kontur tegangan *von mises* (1) saat 0 rotasi dan (2) saat 3183 rotasi.

DISKUSI

Keausan dapat dibagi menjadi tiga daerah yaitu *running-in*, *steady-state* dan *wear-out*. *Running-in* adalah sebuah fenomena yang terjadi setelah awal kontak dalam gerak relatif antara permukaan yang sama-sama baru [6]. *Steady state* adalah daerah keausan dimana tingkat pertumbuhan keausannya sudah mendekati tetap (*steady*). Sedangkan *wear-out* adalah daerah yang tingkat pertumbuhan keausannya semakin membesar diakibatkan kelelahan dari kegagalan fatik. Dapat dilihat pada Gambar 7 untuk ketiga daerah tersebut.

Setelah hasil keausan disajikan pada bagian hasil, dapat diamati pertumbuhan dari keausan, tegangan, dan luas kontak. Bahwa pertumbuhannya semakin menurun sebanding dengan jumlah rotasi yang telah ditempuh. Kemudian pertumbuhannya akan semakin tetap sebagai indikasi telah mulai memasuki daerah *steady state*. Pada penelitian selanjutnya, akan dikembangkan perhitungan keausan sistem kontak rolling sliding pada geometri ellipsoid vs cylinder menggunakan *finite element method*.



Gambar 7: Skema daerah keausan terhadap jumlah rotasi [7]

KESIMPULAN

Jika dua permukaan benda terjadi kontak *rolling/sliding* maka akan terjadi keausan. Keausan dapat diketahui dengan menggunakan metode FEM. Prosedur perhitungan keausan diawali dengan membuat geometri dua disk lengkap dengan material yang dipasang saling kontak. Kemudian disimulasikan sehingga mendapat tegangan kontak rata-rata untuk diterapkan pada formula keausan terhadap jumlah rotasi. Setelah mendapatkan keausan pertama, dilakukan updated geometri sedemikian rupa sehingga geometrinya sama dengan kenyataan.

Hasil updated geometri kemudian disimulasikan kembali untuk mendapatkan keausan kedua. Hal tersebut dilakukan terus menerus hingga mencapai jumlah rotasi yang diharapkan. Hasil yang ditunjukkan berupa grafik keausan, perkembangan tegangan kontak terhadap kontak area, perkembangan tegangan kontak terhadap jumlah rotasi dan pertumbuhan kontak area terhadap jumlah rotasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Saputra, R. Ismail, M. Tauviquirrahman dan Jamari, Perhitungan keausan pada kontak rolling-sliding, SEMANTIK Universitas Dian Nuswantoro, Indonesia, 2011.
- [2] B. Kanavalli, *Application of user defined subroutine UMESHMOTION in ABAQUS for simulating dry rolling/sliding wear*, Master Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2006.
- [3] P. Podra, and S. Andersson, *Simulating sliding wear with finite element method*, Tribology International, 32, pp. 71-81, 1999.
- [4] M. Oqvist, *Numerical simulations of mild wear using updated geometry with different step size approaches*, Wear, 249, pp. 6-11, 2001.
- [5] V. Hegadekatte, S. Kurzenhauser, N. Huber, and O. Kraft, A predictive modeling scheme for wear in tribometers, Tribology International, 41, pp. 1020-1031, 2008.
- [6] Jamari, *Running-in of Rolling Contacts*, PhD thesis, Twente University, The Netherlands, 2006.