

PEMODELAN ELEMEN HINGGA KONTAK SLIDING BERULANG ANTARA BOLA DENGAN PERMUKAAN KASAR

Jamari

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059
 E-mail: j.jamari@gmail.com

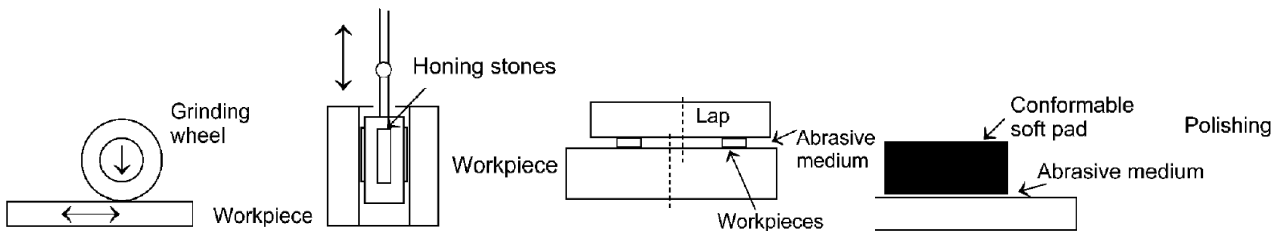
ABSTRAK

Komponen mesin yang saling berkontak dan terjadi gerak translasi satu sama lain disebut sebagai kontak sliding atau kontak luncur. Gerakan sliding paling banyak dijumpai pada proses manufaktur maupun proses lainnya seperti grinding, gerakan ring-piston dan lain-lain. Makalah ini mempresentasikan pemodelan elemen hingga kontak sliding baik yang tunggal maupun berulang pada sistem kontak antara bola dengan permukaan kasar. Pemodelan dilakukan melalui beberapa tahap: pengukuran geometri permukaan, proses pemberian geometri permukaan kasar hingga proses analisa elemen hingga. Parameter-parameter kontak sliding ditampilkan melalui distribusi tegangan von Mises dan perubahan topografi permukaan kasar baik untuk kontak sliding tunggal maupun berulang. Model yang dikembangkan telah berhasil mempresentasikan fenomena kontak sliding terutama pada perubahan topografi permukaan kasar.

Kata kunci: kontak sliding, kontak berulang, permukaan kasar, metode elemen hingga.

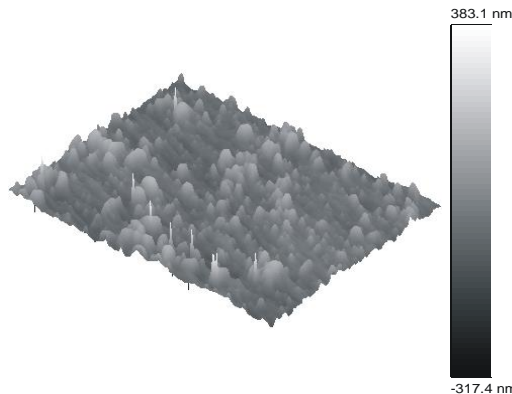
1. PENDAHULUAN

Sedikitnya ada dua jenis gerakan utama dalam proses pemesinan, yaitu gerak translasi dan gerak rotasi. Komponen mesin yang saling berkontak dan terjadi gerak translasi satu sama lain disebut sebagai kontak sliding atau kontak luncur. Salah satu contoh kontak sliding dapat dijumpai pada interaksi antara permukaan ring piston dengan permukaan silinder liner. Gerakan sliding paling banyak dijumpai pada proses manufaktur seperti grinding, honing, lapping dan polishing [1]. Gambar 1 memperlihatkan mekanisme jenis-jenis proses yang dimaksud.



Gambar 1. Mekanisme proses *grinding*, *honing*, *lapping* dan *polishing* [1].

Suatu komponen mesin yang terlihat halus jika dilihat menggunakan mikroskop dengan perbesaran skala mikro maka yang terlihat adalah permukaan yang sangat kasar (*surface roughness*). Hal ini dapat dilihat pada permukaan sebuah komponen seperti pada Gambar 2. Mekanika kontak antar permukaan kasar telah banyak diteliti [2]. Jika permukaan suatu komponen mesin saling berkontak maka sesungguhnya yang terjadi adalah kontak antar asperiti (bagian terkecil yang menonjol).



Gambar 2. Topografi permukaan kasar sebuah komponen [2].

Interaksi kontak antar dua permukaan kasar akan menentukan karakteristik kontak. Karakteristik kontak berperan utama dalam menentukan karakter fungsional komponen. Untuk memaksimalkan kinerja komponen yang berkontak maka kekasaran permukaan tidak boleh disederhanakan menjadi satu besaran statistik seperti Ra , skewness, maupun parameter-parameter fractal. Geometri asperiti tidak ada yang persis sama dan mengikuti distribusi statistik tertentu.

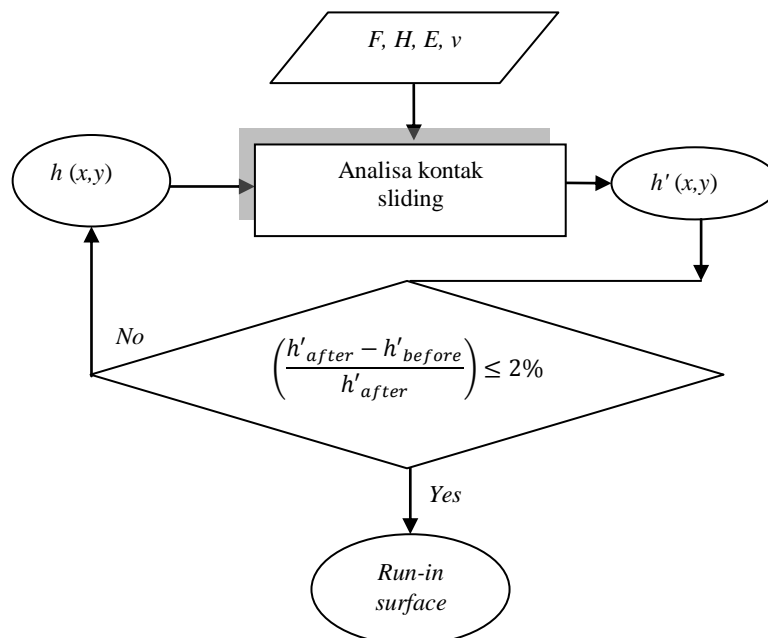
Penelitian tentang model kontak permukaan kasar dipelopori oleh Greenwood dan Williamson [3] dengan mendasarkan teori kontak elastis Hertz. Kekasaran permukaan diwakilkan dengan parameter-parameter statistik untuk mengurangi kompleksitas analisis. Untuk mendapatkan data geometri asperiti terdapat beberapa metode lain yang diusulkan, seperti metode puncak sembilan titik [4], metode konservasi volume [4]. Chang et al. [5] mengembangkan model elastis menjadi model elastis-plastis. Pada model ini tidak ada daerah transisi dari kondisi kontak elastis ke kondisi kontak plastis sehingga Zhao et al [6] mengembangkan model kontak elastis-plastis yang memiliki daerah transisi dari elastis ke kondisi kontak plastis. Daerah transisi ini juga sering disebut dengan daerah kontak elastoplastis.

Paper ini merupakan kelanjutan studi sebelumnya [7] terhadap kontak permukaan kasar tanpa menganggapnya sebagai perwakilan parameter-parameter statistik ataupun parameter lainnya. Permukaan kasar akan digunakan langsung sebagai input untuk proses analisa kontak. Gerakan sliding adalah bagian terpenting pada paper ini. Deformasi yang terjadi pada asperiti maupun tegangan von Mises akibat beban tekanan kontak ditampilkan untuk memahami fenomena yang terjadi. Selain itu, beban kontak sliding yang berulang juga dikaji.

2. PEMODELAN

Pemodelan elemen hingga kontak sliding antara bola dengan permukaan kasar menggunakan prosedur yang sama dengan kontak statis permukaan kasar pada model Jamari [7]. Untuk model kontak sliding berulang menggunakan prosedur seperti yang ditunjukkan secara skematik pada Gambar 3.

Geometri topografi permukaan dapat diperoleh dari hasil pengukuran maupun dari simulasi atau *artificial surface*. Permukaan kasar hasil pengukuran maupun simulasi kadang-kadang terdapat puncak asperiti yang tajam. Hal ini perlu dihindari karena akan sangat berpengaruh terhadap analisa kontak elemen hingga. Tegangan yang sangat tinggi akibat radius puncak yang sangat kecil berkontribusi besar terhadap eror pada saat analisa. Untuk mengatasi hal tersebut maka digunakan program bantu CAD untuk membuat permukaan kasar dengan memanfaatkan data-data ketinggian nodal hasil pengukuran (atau simulasi). Proses detail tentang prosedur pembuatan permukaan kasar dapat dilihat di [7]. Setelah permukaan kasar terbentuk kemudian dibuat dalam bentuk tiga dimensi. Agar dapat langsung digunakan untuk analisa kontak dengan metode elemen hingga maka formatnya diubah ekstensinya menjadi *.iges atau *.sat. Kemudian data dikirim ke perangkat lunak CAE. Prosedur berikutnya adalah langkah-langkah umum yang sering digunakan pada analisa elemen hingga seperti membuat mesh, memberikan kondisi batas system kontak, property material, dan lain-lain.



Gambar 3. Prosedur pemodelan kontak sliding berulang.

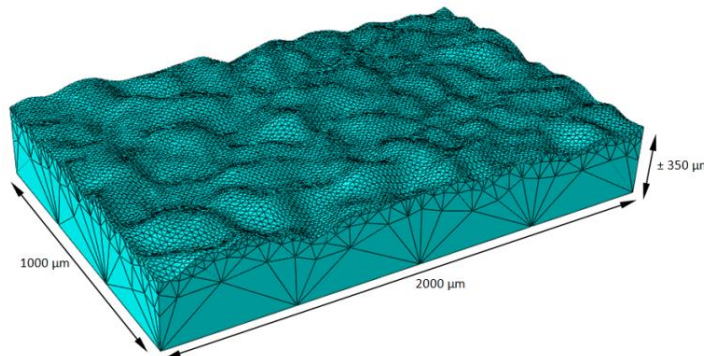
Pada Gambar 3, data permukaan $h(x,y)$ adalah data permukaan yang sudah dipersiapkan sedemikian sehingga dapat langsung digunakan untuk analisa elemen hingga. Data ini adalah data permukaan kasar yang datar, bukan permukaan bola. Permukaan bola diasumsikan sangat halus dan sangat kaku sehingga tidak terdeformasi. Setelah itu

dilakukan analisa kontak sliding dengan metode elemen hingga. Di sini F adalah beban kontak yang akan diberikan, H adalah kekerasan material permukaan kasar (indenter bola dianggap rigid), E adalah modulus elastisitas dan ν adalah rasio Poisson. Setelah proses analisa kontak sliding dengan jarak sliding tertentu selesai maka akan dihasilkan distribusi deformasi dan tegangan permukaan kasar akibat beban kontak sliding. Kondisi ini akan menghasilkan data permukaan baru $h'(x,y)$. Untuk system kontak berulang, topografi permukaan baru $h'(x,y)$ akan digunakan sebagai input untuk analisa sliding berikutnya. Satu siklus didefinisikan sebagai saat $h(x,y)$ diproses hingga $h'(x,y)$. Siklus ini dapat dilakukan berulang-ulang sesuai dengan kebutuhan kajian yang diinginkan. Dalam model tersebut diperkenalkan model kontak sliding berulang untuk kondisi running-in dimana tidak ada lagi perubahan antara topografi awal dengan topografi hasil kontak sliding (perbedaannya kurang dari atau sama dengan 2%).

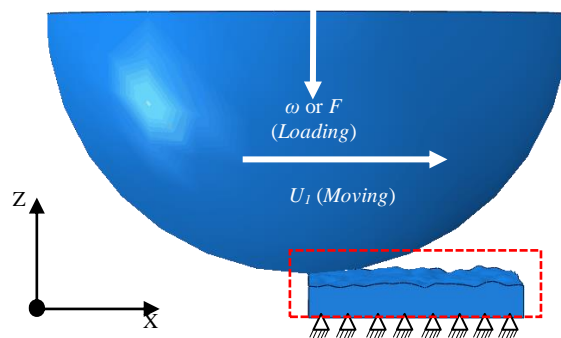
Material yang digunakan pada penelitian ini adalah material dengan sifat elastic-plastis sempurna, yaitu material yang tidak memiliki atau sangat sedikit strain hardeningnya. Modulus elastisitas $E = 75.2$ GPa, rasio Poisson $\nu = 0.34$ dan tegangan luluh $\sigma_y = 85.752$ MPa [2]. Bola rigid yang digunakan sebagai indenter memiliki radius $R = 5000\mu\text{m}$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permukaan kasar yang telah diberikan proses meshing yang siap digunakan untuk analisa elemen hingga kontak sliding diperlihatkan pada Gambar 4. Sebelum meshing permukaan ini merupakan kumpulan data-data yang berisi posisi dan ketinggian. Melalui serangkaian proses seperti yang telah dipaparkan sebelumnya maka dihasilkan geometri permukaan tersebut dalam bentuk 3D. Ketebalan permukaan kasar diberikan tidak terlalu besar untuk mengurangi beban kalkulasi pada analisa elemen hingga. Semakin tebal maka membutuhkan jumlah elemen yang semakin banyak. Ketebalan sekitar $350\mu\text{m}$ cukup mewakili system kontak dengan beban 5N. Pada Gambar 3 mesh yang rapat diterapkan pada permukaan dan semakin jauh dari permukaan (kedalam ke arah ketebalan) mesh semakin lebar. Berbeda dengan kontak statis dimana mesh di permukaan diperhalus hanya pada sekitar daerah kontak, pada permukaan kontak sliding hampir semua permukaan dibuat halus karena akan mengalami mekanisme kontak semua akibat proses sliding.

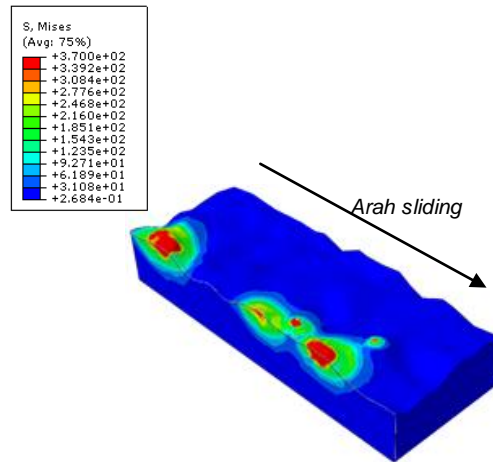


Gambar 4. Meshing model elemen hingga permukaan kasar.



Gambar 5. Model elemen hingga sistem kontak sliding antara sebuah bola dengan sebuah permukaan kasar.

Gambar 5 adalah hasil pemodelan geometri elemen hingga yang menerangkan proses kontak sliding. Permukaan kasar diberikan kondisi batas tidak dapat bergerak ke arah manapun pada permukaan dasarnya. Permukaan bola yang rigid diwakilkan dengan sebaian geometrinya saja untuk kemudian diberikan beban statis (ke arah z negatif) dan dilanjutkan dengan beban sliding dengan menggerakkannya ke arah x positif.

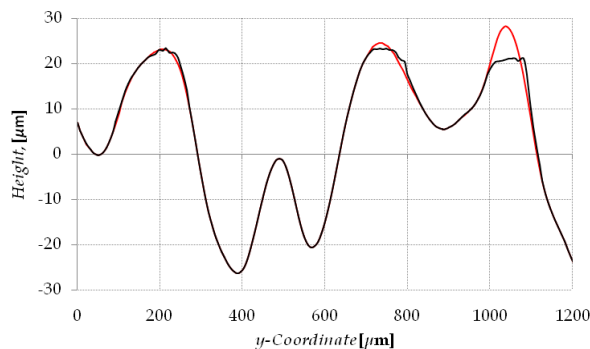


Gambar 6. Kontur tegangan von Mises permukaan kasar akibat beban kontak sliding.

Setelah semua kondisi batas diberikan (konstrains dan beban) dan model materialnya kemudian dilakukan analisa kontak elemen hingga. Dari analisa ini banyak sekali yang dapat diperoleh seperti deformasi, distribusi tekanan kontak, distribusi tegangan maupun regangan dan lain-lain. Pada penelitian ini hanya difokuskan pada distribusi tegangan von Mises dan deformasi plastis untuk keperluan studi perubahan topografi permukaan. Gambar 6 menunjukkan hasil distribusi tegangan von Mises pada saat proses sliding. Di sini dapat dilihat bahwa permukaan yang memiliki asperiti lebih tinggi maka akan mendapatkan beban kontak terbesar yang dapat diindikasikan dengan tegangan von Mises yang paling tinggi. Beban 5 N akan diterima oleh sekumpulan asperiti. Asperiti yang terdistribusi merata akan menerima beban yang merata dan asperiti yang terdapat bagian paling tinggi (geometri arah z) maka akan menerima beban paling dominan. Pada gambar tersebut dapat dilihat juga distribusi luas area kontak selama proses sliding. Potongan melintang pada daerah yang berwarna adalah posisi kontak yang terjadi dan luas daerah kontak yang mendekati area kontur yang berwarna tersebut.

Kondisi plastis didapatkan pada analisa ini. Seperti yang terlihat pada distribusi tegangan von Mises, tegangan maksimum diperoleh sekitar 370 MPa sementara tegangan luluh materialnya adalah 85 MPa sehingga deformasi plastis ditemukan pada daerah-daerah tertentu. Deformasi plastis inilah yang menyebabkan perubahan topografi permukaan kasar. Pada kondisi sliding yang sebenarnya fenomenanya sangat kompleks karena terdapat banyak sekali parameter yang terlibat seperti gesekan, perubahan temperature, dan lain-lain. Pada analisa ini diasumsikan tidak ada perubahan temperatur dan tidak memperhitungkan efek dari temperatur. Demikian juga dengan parameter gesekan, analisa ini tidak memperhitungkan gesekan dan pelumasan. Diasumsikan bahwa koefisien gesek adalah sama yaitu nol. Namun demikian, hasil ini sudah cukup baik sekali dalam menerangkan fenomena beban kontak sliding dalam hubungannya dengan distribusi tegangan von Mises dan perubahan geometri pada masing-masing asperiti.

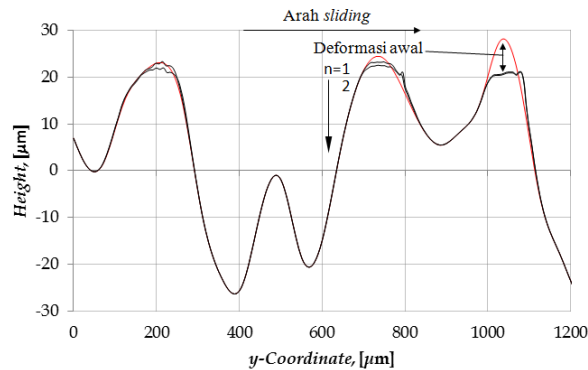
Gambar 7 memberikan gambaran yang lebih detail fenomena perubahan geometri. Plot perubahan profil permukaan kasar sebelum dan sesudah proses sliding ditampilkan. Garis merah merupakan profil topografi permukaan kasar sebelum proses sliding dan garis hitam adalah profil permukaan kasar setelah beban kontak sliding. Pada asperiti dengan titik pusat sekitar 200 μm mengalami kontak namun masih berada dalam daerah elastis sehingga tidak mengalami perubahan geometri. Pada asperiti dengan posisi titik pusat sekitar 750 μm dan 1100 μm mengalami deformasi plastis. Pada posisi 1100 μm deformasi plastisnya tertinggi disbanding dengan dua asperiti lainnya. Hal ini karena asperiti 1100 μm memiliki ketinggian paling tinggi yaitu sekitar 28 μm .



Gambar 7. Deformasi plastis pada asperiti permukaan kasar akibat beban kontak sliding.

Hasil analisa kontak sliding berulang mirip dengan hasil analisa kontak sliding tidak berulang. Karena fenomenanya yang mirip, hasil distribusi tegangan von Mises tidak ditampilkan dan hanya diwakilkan dengan hasil

perubahan geometri profil permukaan kasar seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8. Pada gambar tersebut terlihat bahwa perubahan geometri pada siklus pertama ($n = 1$) terhadap geometri siklus sliding kedua ($n = 2$) tidak terlalu besar. Hal ini dikarenakan setelah proses sliding siklus pertama permukaan kasar terdeformasi plastis dan terjadi konformasi system kontak sehingga pada siklus selanjutnya sudah tidak banyak mengalami perubahan geometri karena hampir semua kontak sudah berada pada kondisi equilibrium elastis (kondisi running-in). Hal yang menjadi pertanyaan besar adalah mengapa fenomenanya mirip dengan kontak statis berulang padahal untuk kontak sliding berulang sangat berbeda pada kenyataannya. Pertanyaan ini sangat menarik karena pada kenyataannya running-in kontak sliding lebih lama dibandingkan dengan running-in kontak rolling atau static berulang. Asumsi bahwa tidak ada gesekan dan keausan pada analisa di sini yang menjadi sebab kenapa tidak terlalu banyak perubahan setelah sliding siklus pertama. Pada studi selanjutnya akan dipelajari fenomena kontak sliding berulang dengan mempertimbangkan keausan pada proses sliding sehingga perubahan kontak tidak hanya disebabkan oleh beban kontak normal namun juga disebabkan oleh beban kontak tangential yang menyebabkan keausan.



Gambar 8. Perubahan geometri asperiti permukaan kasar akibat beban kontak sliding berulang.

4. KESIMPULAN

Gerak translasi maupun rotasi merupakan gerakan utama yang sering dijumpai pada komponen mesin yang bergerak. Komponen mesin yang saling berkontak dan terjadi gerak translasi satu sama lain disebut sebagai kontak sliding atau kontak luncur. Gerakan sliding paling banyak dijumpai pada proses manufaktur seperti *grinding*, *honing*, *lapping* dan *polishing* maupun proses lainnya seperti gerakan ring-piston pada mesin. Pemodelan kontak sliding baik yang tunggal maupun berulang telah berhasil dilakukan pada penelitian ini. Analisa dilakukan dengan menggunakan tool-tool pada software CAD dan software komersial metode elemen hingga.

Pemodelan dilakukan melalui beberapa tahap: pengukuran geometri permukaan, proses pemberian geometri permukaan kasar hingga proses analisa elemen hingga. Evaluasi parameter-parameter kontak sliding dipaparkan melalui distribusi tegangan von Mises dan perubahan topografi permukaan kasar baik untuk kontak sliding tunggal maupun berulang. Model yang dikembangkan telah berhasil mempresentasikan fenomena kontak sliding. Namun demikian masih terdapat hal-hal penting untuk menjadi kajian selanjutnya yaitu fenomena gesekan dan keausan selama proses sliding.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I.D. Marinescu, W.B. Rowe, B. Dimitrov, I. Inasaki, Tribology of Abrasive Machining Processes, William Andrew Publishing Inc., Norwich, USA (2004).
- [2] Jamari, Running-in of Rolling Contacts, PhD Thesis University of Twente, The Netherlands (2006).
- [3] J.A. Greenwood and J.B.P. Williamson, Contact of Nominally Flat Surfaces, Proc. R. Soc. London, Ser A295 (1966) 300-319.
- [3] M.B. de Rooij, Handout Solids and Surfaces, University of Twente, Enschede, The Netherlands (2005).
- [4] W.R. Chang, I. Etsion, D.B. Bogy, An Elastic-Plastic Model for the Contact of Rough Surfaces, ASME Journal of Tribology 109 (1987) 257-263.
- [5] Y. Zhao, D.M. Maietta, L. Chang, An Asperity Microcontact Model Incorporating the Transition from Elastic Deformation to Fully Plastic Flow, ASME Journal of Tribology 122 (2000) 86-93.
- [6] Jamari, Analisa Kontak Statis Permukaan Kasar Berbasis Elemen Hingga, Rotasi 13 (2011) 13-17.