

KAJI EKSPERIMENTAL RUNNING-IN PADA KONTAK ROLLING-SLIDING PASANGAN MATERIAL ALUMINIUM DENGAN BAJA S45C

*Nana Supriyana, Petrus Londa, Taufiq Hidayat, Jamari, Sri Nugroho

Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: Nanasupriyana_sttw@yahoo.com

ABSTRAK

Keausan yang terjadi pada komponen di sistem permesinan dapat mengakibatkan penurunan kemampuan kerja komponen tersebut (kegagalan kerja komponen). Banyak penyebab yang menimbulkan terjadinya keausan diantaranya adalah kualitas material, kondisi pelumasan, perlakuan pengoperasian komponen terutama pada saat pertama kali komponen permesinan berkontak (running-in) dan lain sebagainya. Berbagai cara untuk mendeteksi fenomena keausan yang terjadi pada komponen terutama yang berkontak dan bergerak, salah satunya adalah melalui eksperimen. Salah satu parameter untuk mendeteksi adanya gejala keausan adalah perubahan nilai koefisien gesek yang terjadi ketika komponen berkontak dan bergerak.

Penelitian ini membahas pengaruh penerapan nilai sr yang berbeda terhadap perubahan nilai koefisien gesek pada fase running-in pada material aluminium dan baja S45C. Peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini menggunakan alat uji two disc tribometer. Kondisi standar eksperimen nilai slip-roll ratio (sr) 0%, 40%, 80% dan 100%, beban tekan 4 kg serta kondisi pelumasan menggunakan minyak pelumas dengan SAE 15W-40. Dimensi benda uji masing-masing disc berdiameter 50 mm, benda uji dengan material aluminium permukaannya dibuat rata dan pada spesimen dengan material baja S45C dibuat radius dengan jari-jari 5 mm, sedangkan waktu eksperimen adalah selama 60 detik dan setiap 10 detik dilakukan pengukuran kekasaran permukaan pada spesimen yang rata.

Hasil eksperimen memperlihatkan perubahan nilai koefisien gesek mempunyai tren menurun seiring waktu running-in yang terus berjalan, perubahan ini diakibatkan beberapa puncak asperiti mulai terpangkas dan jumlah asperiti yang terdeformasi mulai berkurang, kemudian nilai koefisien gesek mulai bergerak turun dan mencapai kondisi rata inilah kondisi steady state karena pada kondisi ini energi yang dikeluarkan untuk melawan gaya gesek yang terjadi relatif lebih sedikit dibanding diawal gerakan dan berkontak. Nilai kekasaran permukaan spesimen juga mengalami perubahan dan hampir semua penurunan nilai kekasaran terjadi pada setiap penerapan nilai sr yang berbeda dan perubahannya menurun sampai kondisi steady state tercapai.

Kata kunci: keausan, koefisien gesek, running-in, rolling-sliding.

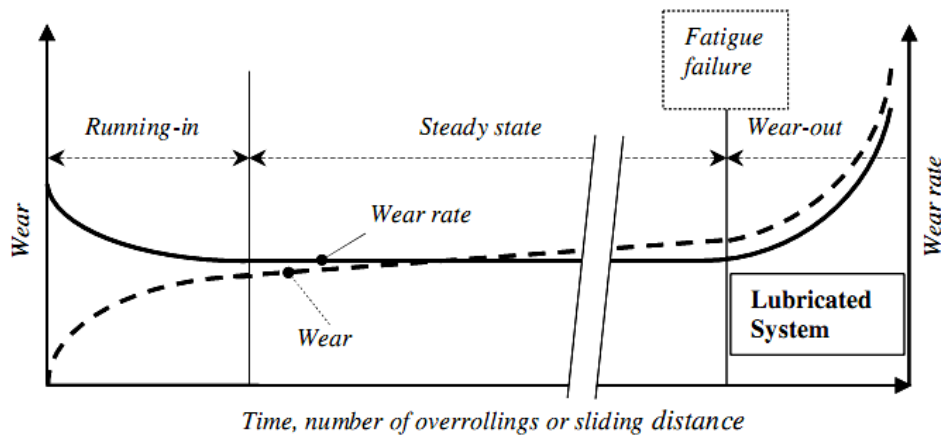
1. PENDAHULUAN

Memaksimalkan usia pakai komponen pada suatu sistem permesinan merupakan suatu harapan bagi banyak orang walaupun tidak bisa dihindarkan dari fenomena keausan tetapi kita dapat mengendalikan keausan. Berbagai cara dilakukan bagaimana caranya agar usia pakai suatu komponen bisa maksimal atau meminimalkan keausan yang terjadi, mulai dari penggunaan sistem pelumas yang baik dan tepat, pemilihan material komponen yang baik dan tepat, mengendalikan temperatur kerja komponen, mengendalikan beban kerja komponen, melakukan perawatan berkala terhadap komponen permesinan sampai dengan melakukan berbagai penelitian untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada saat komponen permesinan bekerja. Masalah ini telah dilakukan penelitian oleh Robinowicz yang mengemukakan bahwa kehilangan fungsi suatu komponen mesin 70% disebabkan oleh kerusakan pada permukaan logam yang meliputi keausan (55%) dan korosi (15%). Mekanisme keausan yang dominan adalah keausan adesif (25%) dan abrasif (20%), sedang sisanya disebabkan oleh mekanisme keausan yang lain [1]. Semua penyesuaian perubahan ini untuk meminimalkan aliran energi, baik mekanik atau kimia, antara permukaan yang bergerak.

Berbagai perubahan yang terjadi mulai dari pertama kali berkontak sampai dengan mencapai kondisi stabil (*steady state*) inilah yang disebut dengan istilah *Running-in* [2]. Kehrwald tahun 1998 menyatakan bahwa dengan melakukan prosedur yang tepat saat *running-in*, dapat meningkatkan *life time* suatu sistem permesinan sebesar 40% lebih, dan juga dapat mengurangi gesekan mesin tanpa melakukan perubahan material [3]. Keausan yang terjadi pada permukaan komponen yang berkontak dan bergerak diakibatkan adanya kontak *rolling*, kontak *rolling* itu sendiri ada dua yaitu *pure rolling* dan *rolling-sliding*. Ketika kontak yang terjadi pada kedua permukaan memiliki kecepatan tangensial yang sama maka digolongkan sebagai kontak *pure rolling*, artinya dalam kontak *pure rolling* tidak ada "*slip*". Namun dalam kenyataannya kontak *pure rolling* sulit ditemukan [4]. Kontak *rolling* yang sesungguhnya mengandung *sliding local (slip)*, fenomena ini dapat ditemukan dalam kasus kontak roda gigi [5].

Peneliti lain yaitu Morgan [6] dan Jamari [2] melakukan eksperimen menggunakan bola keras sebagai indenter yang digelindingkan dengan diberi beban normal pada plat *deformable* kesimpulannya adalah kontak rolling yang sesungguhnya adalah kontak rolling-sliding. kontak *rolling-sliding* sangat penting untuk diketahui, hal ini dikarenakan berhubungan dengan umur pakai (*life-span*) dari suatu komponen dalam sistem permesinan, begitu juga dengan proses penyesuaian permukaan komponen yang berkontak (*running-in*) sampai mencapai kondisi stabil (*steady state*). Fenomena kontak *sliding* adalah kontak dengan kecepatan relatif antara dua benda atau permukaan pada pusat kontak dalam bidang *tangent*. Pengaruh dari adanya kontak *sliding* adalah hilangnya sebagian material dari permukaan yang saling kontak dan hal ini dinamakan keausan. Keausan dalam ASTM didefinisikan sebagai kerusakan permukaan benda yang secara umum berhubungan dengan peningkatan hilangnya material yang disebabkan oleh pergerakan relatif benda dan sebuah substansi kontak [7]. Stachowiak, 2005 memberikan definisi keausan sebagai kehilangan substansi secara progresif dari permukaan operasi dari benda akibat gerak relatif dari permukaan terhadap benda lain [8].

Fenomena keausan yang terjadi dibagi menjadi tiga tahapan proses keausan seiring dengan waktu aus komponen [2] seperti terlihat dalam Gambar 1. Tahap pertama yaitu tahap *running-in*. Pada tahap ini keausan mengalami peningkatan secara signifikan, tetapi laju keausan berkurang seiring dengan bertambahnya waktu ataupun jarak *sliding* maupun *rolling*. Tahap kedua adalah *steady state*, dimana keausan masih meningkat tetapi tidak sebesar tahap pertama (*running-in*). Laju keausan (*wear rate*) berjalan konstan dan tidak berubah dengan berjalannya waktu ataupun jarak *sliding* maupun *rolling*. Keadaan ini berakhir sampai terjadi *fatigue wear*. Tahap terakhir disebut *wear-out*, pada tahap ini keausan dan laju keausan mengalami peningkatan tajam, sampai akhirnya permukaan kontak mengalami kerusakan. Pada kondisi inilah awal dari kegagalan lelah.



Gambar 1. Grafik tahapan keausan [2]

Berbagai macam penelitian yang membahas tentang awal dari sebuah komponen berkontak sampai mengalami keausan atau hilangnya suatu material pada permukaan yang saling kontak telah dilakukan hal ini dapat diketahui menggunakan beberapa metode, salah satunya dengan metode eksperimen. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh para ilmuwan baik dengan eksperimen maupun dengan simulasi menggunakan *software* komputer untuk mempelajari fenomena keausan pada kontak *rolling-sliding*.

Peneliti Wang dkk. [9] dengan judul penelitiannya “*Wear volume determination during running-in for PEHL contacts*”, dengan kondisi standar eksperimen yang dilakukan menggunakan spesimen yang berbeda yaitu Aluminium dan baja, diputar dengan jumlah putaran 300 rpm dan 100 rpm dengan beban tekan sebesar 49 N. Dari hasil eksperimen yang dilakukan dihasilkan kesimpulan bahwa spesimen yang awalnya memiliki nilai kekerasan tinggi juga memiliki nilai kekasaran tinggi. Pada beban tinggi, nilai kekasaran terakhir lebih rendah dibandingkan pada beban rendah. Rasio *rolling-sliding* yang diterapkan mempunyai pengaruh terhadap keausan pada kondisi *Partial Elasto Hydrodynamic Lubrication* (PEHL). Pada rasio *rolling-sliding* yang kecil, keausan lebih tinggi sedangkan pada rasio yang tinggi keausan lebih kecil sedangkan laju keausan meningkat sebanding dengan beban.

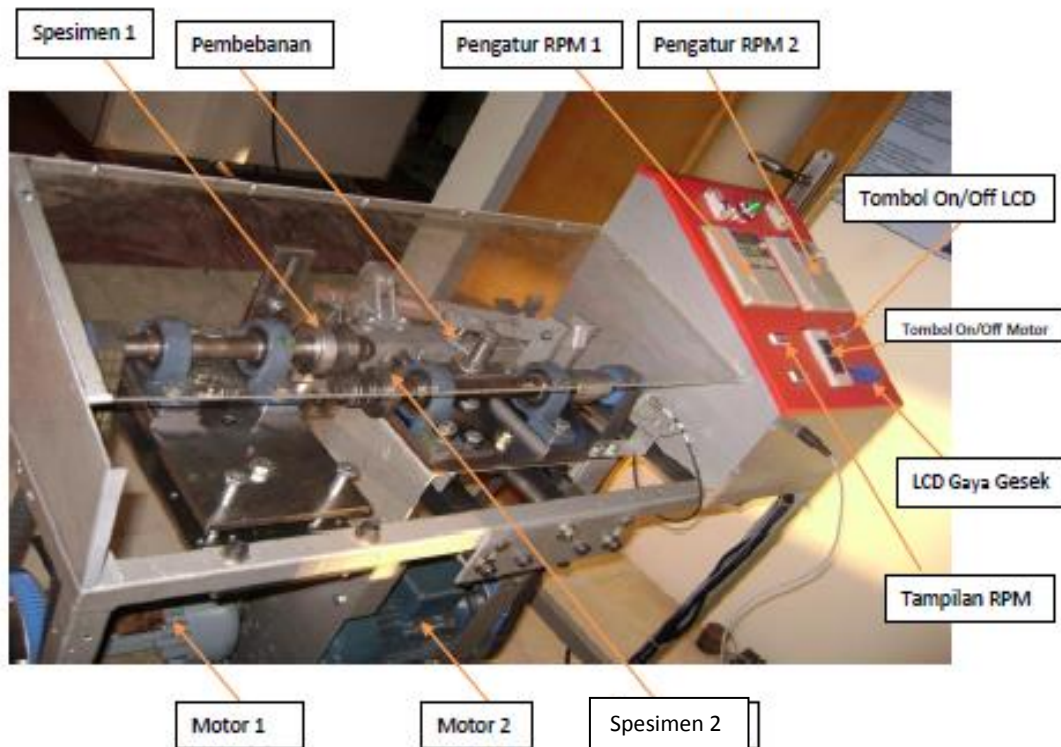
Peneliti lain adalah Akbarzadeh dkk. [10] dalam penelitiannya yang berjudul “*Experimental and theoretical investigation of running-in*”, melakukan eksperimen yang berhubungan dengan keausan pada kontak *rolling-sliding*. Mereka meneliti *disc roller* dengan kondisi pelumasan *Elasto Hydrodynamic Lubrication* (EHL). Pelumas yang dipilih memiliki nilai SAE 30. *Roller* yang digunakan jenis *soft* dan *hard roller*. Kesimpulan dari penelitian ini pasangan spesimen yang memiliki nilai kekerasan tinggi menghasilkan nilai kekasaran yang tidak jauh berbeda dari nilai kekasaran awal tetapi hasil lain dari penelitian ini pasangan spesimen yang memiliki nilai kekerasan rendah menghasilkan kekasaran yang jauh berbeda dengan awal kekasaran specimen.

Data-data di atas menunjukkan bahwa fenomena keausan sangat penting dalam kaitannya umur pakai dan *performance* komponen dalam suatu sistem permesinan. Oleh karena itu penelitian tentang fenomena keausan sangat berguna untuk menambah waktu pakai komponen suatu sistem permesinan, mempertimbangkan dan menentukan jenis dan propertis material yang akan digunakan, dan menentukan kondisi pelumas yang tepat sebagai upaya untuk meningkatkan optimalisasi suatu sistem permesinan.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

Pasangan spesimen pada eksperimen ini menggunakan bahan baja S45C dan bahan aluminium, komposisi kandungan unsur kimia pada material baja S45C adalah C = 47,4%, Si = 14,2%, Mn = 1,585%, Cr = 13,5% dan nilai kekerasan bahan 66,00 HRA, dimana material ini banyak digunakan komponen di permesinan pada umumnya dan di otomotif pada khususnya seperti poros engkol, batang piston, noken as dan lain sebagainya sedangkan material aluminium memiliki komposisi Al = 99,67%, Fe = 0,27%, Mn = 0,03%, Zn = 0,01%, Sn = 0,01% dan nilai kekerasan bahan 23,83 HRB, dimana material ini banyak juga digunakan pada komponen otomotif diantaranya adalah batang pelatuk katup, rumah pompa pelumas, bantalan poros engkol dan lain sebagainya.

Pada proses eksperimen dilakukan menggunakan alat uji *two disc tribometer machine* seperti dalam Gambar 2. Alat uji ini dilengkapi dengan data aquisition untuk menampilkan hasil gaya gesek dari gesekan pada dua spesimen yang bergerak dan bersinggungan.



Gambar 2. Alat uji *two disc tribometer*

Prosedur eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan alat uji *two disc tribometer* sebagai berikut:

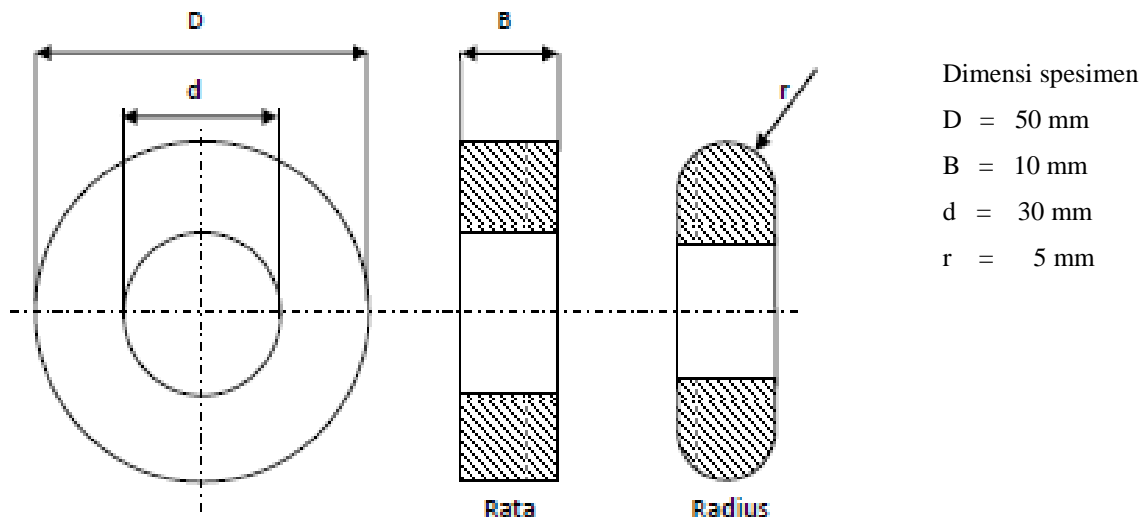
- 1) Pemasangan spesimen pada alat uji *two disc tribometer*.
- 2) Pemasangan alat ukur kekasaran permukaan,
- 3) Pengukuran kekasaran permukaan pada spesimen yang memiliki permukaan rata (dalam Gambar 2 pada bagian spesimen 1) ,
- 4) Penyetelan putaran spesimen dengan mengatur tombol pada pengatur Rpm 1 dan pengatur Rpm 2 sesuai penerapan yang telah ditetapkan sebelum eksperimen, ketentuan nilai μ yang dihitung dengan rumus pada persamaan 1,
- 5) Mulai proses *running-in*,
- 6) Setelah waktu tertentu proses *running-in* dihentikan untuk dilakukan pengukuran kekasaran permukaan spesimen 1) setelah selesai pengukuran proses *running-in* dilanjutkan lagi sampai waktu *running-in* secara keseluruhan selesai,
- 7) Pencatatan nilai koefisien gesek yang terekam dalam program *labview* 7.1 untuk dipindah ke *file excel* selanjutnya dibuat grafik perubahan koefisien gesek,
- 8) Analisa data hasil pengukuran kekasaran dan perubahan koefisien gesek.

Perhitungan nilai sr menggunakan rumus sebagai berikut:

$$sr = \frac{2(U_1 - U_2)}{U_1 + U_2} \times 100\% \quad (1)$$

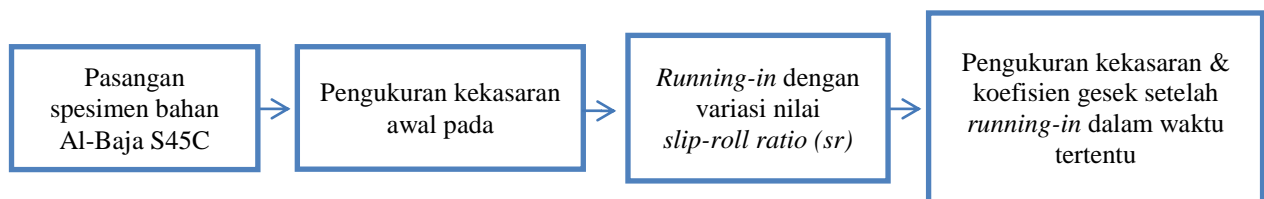
dimana sr = slip-roll ratio
 U_1 = kecepatan putar spesimen 1
 U_2 = kecepatan putar spesimen 2

Penyetelan kecepatan putar pada spesimen 1 dilakukan perubahan sesuai dengan nilai sr yang diterapkan sedangkan penyetelan kecepatan putar pada spesimen 2 pada posisi 100 rpm dan tidak dilakukan perubahan selama proses eksperimen. Waktu yang dipakai dalam proses *running-in* adalah selama 60 detik, setiap 10 detik dilakukan pengukuran kekasaran permukaan pada spesimen yang memiliki permukaan kontak yang rata seperti dalam Gambar 3, diameter spesimen masing-masing 50 mm, tebal spesimen masing-masing 10 mm, spesimen 1 dibuat bidang kontak rata sedangkan spesimen 2 dibuat bidang kontaknya radius 5 mm. Pada eksperimen ini digunakan sistem pelumasan dengan minyak pelumas yang memiliki kekentalan SAE 15W-40 produksi Pertamina. Kegiatan eksperimen dilakukan di laboratorium *Engineering Design and Tribology* Program Studi Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.



Gambar 3. Dimensi spesimen yang dipakai dalam eksperimen

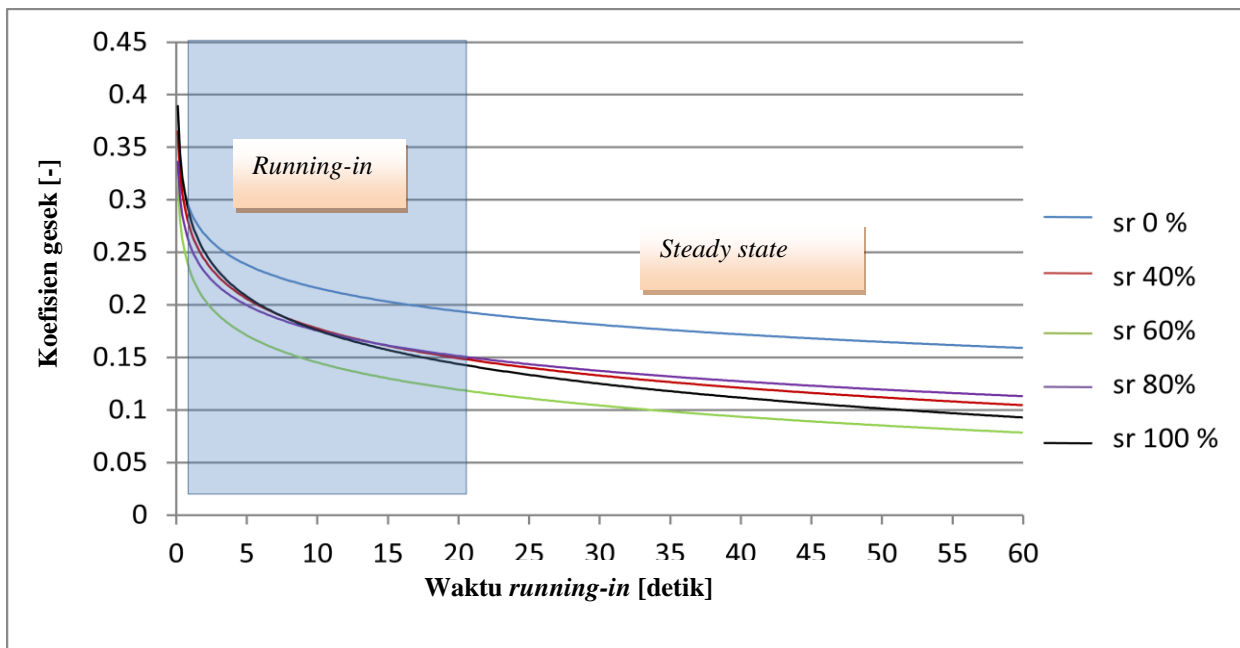
Diagram alir eksperimen seperti terlihat pada Gambar 4 di bawah ini diperlukan sebagai panduan agar semua kegiatan dapat berjalan dan mendapatkan hasil eksperimen yang baik dan benar.



Gambar 4. Skema diagram alir eksperimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen yang dilakukan menggunakan alat uji *two disc tribometer mechine* adalah perubahan nilai koefisien gesek pada saat proses *running-in* dengan variasi nilai sr berikut ini.

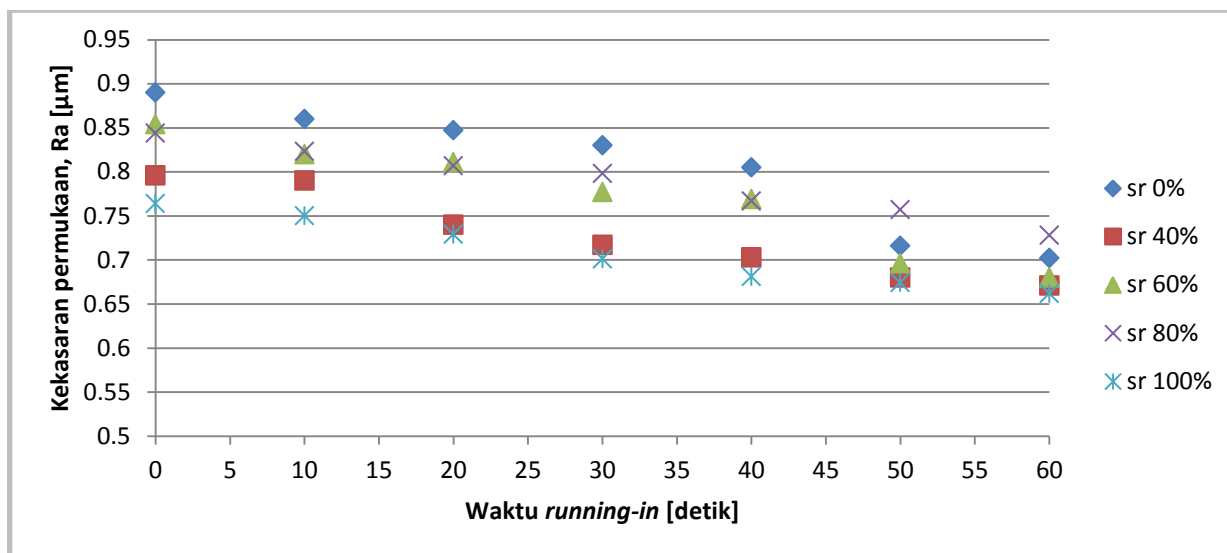


Gambar 5. Gabungan nilai koefisien gesek dengan variasi sr yang berbeda

Pada Gambar 5 terlihat hasil eksperimen dengan penerapan nilai sr yang berbeda, proses eksperimen dengan pasangan aluminium dan baja S45C, penerapan nilai sr 0% terjadi perubahan nilai koefisien gesek dari awal 0,33 menurun drastis kemudian diwaktu 8 detik mencapai nilai koefisien gesek 0,256 hal ini berbeda dengan penerapan nilai sr 100% mencapai nilai koefisien gesek 0,17 ini memperlihatkan bahwa penerapan nilai sr yang berbeda mendapatkan hasil perubahan nilai koefisien gesek yang berbeda pula, kemudian seiring dengan waktu *running-in* berjalan perubahan nilai koefisien gesek mengalami penurunan tetapi tidak drastis. Pada gambar tersebut juga memperlihatkan bahwa terjadinya perubahan koefisien gesek pada pasangan spesimen aluminium dengan baja S45C pada proses *running-in* terlihat sangat cepat hal ini diakibatkan karena aluminium merupakan bahan yang lunak dikontakkan dengan bahan baja S45C yang memiliki sifat lebih keras dibandingkan bahan aluminium, sehingga beberapa puncak asperiti mudah untuk terdeformasi baik plastis maupun elastis. Kemudian untuk penyesuaian atau pemotongan puncak asperiti dibutuhkan energi hal ini ditandai dengan nilai koefisien gesek yang tinggi diawal pergerakan spesimen. Setelah terjadinya perubahan dan penyesuaian bidang kontak semakin halus permukaan kontak maka nilai koefisien gesek cenderung stabil atau kondisi *steady state* tercapai.

Terlihat pula perbedaan penurunan nilai koefisien gesek yang terjadi dengan penerapan nilai sr yang berbeda seperti nilai sr 0% dan 60%, pada grafik penurunan drastis terlihat pada penerapan nilai sr 60% mengalami penurunan yang sangat tajam hal ini berbeda dengan nilai sr 0%. Hal tersebut menggambarkan bahwa perlakuan penerapan nilai sr 60% mendapatkan perubahan nilai koefisien gesek yang paling besar dibandingkan dengan penerapan nilai sr yang lainnya hal ini kemungkinan disebabkan karena perbedaan jumlah putaran yang mengakibatkan terjadinya sliding yang kecil atau berada diantara 0% dan 100% sehingga mengakibatkan banyak puncak asperiti yang terpangkas dan energi yang dibutuhkan untuk menyesuaikan bidang kontak besar diawal saja. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penerapan nilai sr akan berpengaruh terhadap perubahan nilai koefisien gesek yang terjadi ketika dua spesimen berkontak dan bergerak.

Perubahan kekasaran dengan penerapan nilai sr yang berbeda seperti terlihat pada Gambar 6 terjadi secara perlahan dan nilai kekasarannya menurun seiring dengan waktu *running-in* yang berjalan. Hampir semua penurunan nilai kekasaran terjadi pada setiap penerapan nilai sr yang berbeda seperti pada nilai sr 40% diwaktu 10 detik nilai kekasaran 0,823 μm dari awal kekasaran 0,844 μm ini hampir sama besaran perubahan nilai kekasarannya sebesar 0,023 μm pada penerapan nilai sr yang lain seperti nilai sr 100% yang mengalami perubahan nilai kekasaran menjadi 0,750 μm dari awal nilai kekasaran 0,764 μm .



Gambar 6. Perubahan kekasaran dengan penerapan variasi nilai sr yang berbeda

Perubahan-perubahan yang terjadi selama eksperimen baik perubahan nilai koefisien gesek maupun nilai kekasaran permukaan dikaitkan karena penerapan nilai sr yang berbeda dan nilai kekasaran permukaan yang berbeda walaupun kondisi pelumasan yang sama tetapi penyesuaian bidang yang berkontak membutuhkan energi yang berbeda apalagi kekasaran permukaan hal inilah yang perlu kita cermati dalam rangka meminimalisir energi yang muncul akibat adanya bidang yang berkontak.

4. KESIMPULAN

Hasil eksperimen proses *running-in* pada pasangan *disc* yang terbuat dari material aluminium dan baja S45C dengan penerapan nilai sr yang berbeda memperoleh kesimpulan bahwa perubahan nilai koefisien gesek dipengaruhi oleh penerapan nilai sr, semakin besar nilai sr yang diterapkan maka koefisien gesek yang terjadi secara perlahan menurun seiring dengan waktu *running-in* berjalan, fase *running-in* pada proses keausan merupakan tahapan yang relatif cepat, karena tahapan ini akan mempengaruhi karakteristik keausan yang terjadi selanjutnya hal ini juga terjadi pada perubahan nilai kekasaran yang mengalami perubahan semakin menurun sampai kondisi *steady state* tercapai.

5. REFERENSI

- [1] Suryanto, H., 2007, *Pengaruh Penambahan Grafit Sebagai Reinforcement Komposit Perunggu Terhadap Sifat Ketahanan Aus*.
- [2] Jamari, 2006, "*Running-in of Rolling Contacts*", PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- [3] Ismail, R., 1997, *Topographical Change of Engineering Surface due to Running-in of Rolling Contacts*. Laboratory for Surface Technology and Tribology, University of Twente
- [4] Kanavalli, B., 2006, "Application of user defined subroutine UMESHMOTION in ABAQUS for simulating dry rolling/sliding wear", *Master Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden*.
- [5] Flodin, A., Andersson, S., 2000, "*Simulation of mild wear in helical gears*" *Wear*, Volume 249, Issues 3-4, May 2001, Pages 285-292.
- [6] Morgan, J.E., 1999, "*Cumulative plastic deformation observed during cyclic testing in rolling ball-cylinder and static ball-flat plate experiment*," *Wear* 231, pp.249 – 255.
- [7] Blau, P.J., 1996, *Friction Science and Technology*, Marcel Dekker, New York, USA.
- [8] Stachowiak, G.W., 2005. *Engineering Tribology Third Edition*, Elsevier Inc. USA.
- [9] Wang, W., Wong, P.L., Zhang, Z., 2000, "*Experimental study of the real time insurface roughness during running-in for PEHL contacts*," *Wear*, 244, pp. 140-146.
- [10] Akbarzadeh, S., Khonsari, M.M., 2011, "*Experimental and theoretical investigation of running-in*," *Tribology International* 44, pp. 92–100.