

PENGUJIAN RUNNING-IN PADA KONTAK SLIDING ANTARA BOLA BAJA DENGAN PELAT KUNINGAN

*Jamari, Nana Supriyana

Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH – Tembalang, Semarang 50275

*E-mail: j.jamari@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu indikasi kerusakan komponen mekanik adalah keausan. Keausan disebabkan oleh berbagai macam faktor diantaranya adalah jenis material yang berkontak, kondisi pelumasan, perlakuan terhadap pengoperasian komponen, kekasaran permukaan yang berkontak, kondisi operasi dan lain-lain. Seringkali keausan menyebabkan kegagalan, namun demikian, keausan akibat proses *running-in* justru menguntungkan. *Running-in* merupakan proses adaptasi antar komponen yang berkontak menuju keadaan setimbang, sehingga proses ini sangat menentukan sistem kontak sesudahnya. Makalah ini bertujuan mempelajari fenomena keausan *running-in* pada kontak sliding antara bola baja dengan pelat kuningan melalui pengujian dengan mesin jenis two-disc. Sliding dilakukan dengan slip 200% yaitu menahan salah satu disc dan memutar disc pasangannya. Fenomena *running-in* dipelajari melalui perubahan koefisien gesekan dan perubahan topografi permukaan yang berkontak. Hal yang menarik adalah pengukuran koefisien gesekan dan topografi permukaan dilakukan semi-online. Kurva koefisien gesekan sebagai fungsi dari waktu ditampilkan dan perubahan topografi permukaan kontak selama proses atau *running* juga ditampilkan pada setiap siklus atau waktu tertentu. Periode *running-in* dapat diprediksi melalui perubahan koefisien gesekan dan dikonfirmasi dengan perubahan kekasaran permukaan.

Kata kunci: gesekan, keausan, mekanika kontak, *running-in*, *sliding*.

1. PENDAHULUAN

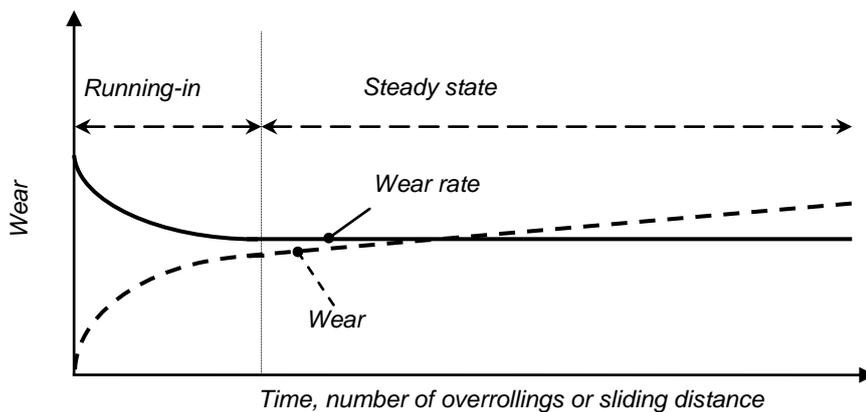
Beberapa aplikasi mekanika kontak dapat ditemukan pada hampir setiap aspek kehidupan kita sehari-hari. Mencengkeram, memegang, menggosok, menyikat, gerakan mesin, gesekan antara kulit dan pakaian, dan lain-lain semua menunjukkan penerapan mekanika kontak. *Running-in* merupakan salah satu bentuk manifestasi mekanika kontak. Proses interaksi yang terjadi pada gesekan antar permukaan kontak akan menentukan sifat gesekan dan keausan antar komponen yang pada akhirnya menentukan sistem keseluruhan. Selama proses interaksi, gaya-gaya yang ditransmisikan, energi mekanik dikonversi, sifat fisika dan kimia dari bahan yang berinteraksi juga mengalami perubahan.

Banyak literatur telah mendefinisikan *running-in* dengan cara mereka sendiri. Namun demikian telah disepakati bahwa terdapat "perubahan" selama proses *running-in*. GOST (bekas Uni Soviet) Standar, misalnya, mendefinisikan *running-in* sebagai: "Perubahan geometri dari permukaan sliding dan sifat fisik-mekanik dari lapisan permukaan material selama periode awal sliding, yang umumnya manifestasi diri dalam bentuk penurunan gesekan, suhu, dan laju keausan, dengan asumsi kondisi eksternal konstan" [1]. Summer-smith [2] mendefinisikan *running-in* sebagai: "Pemangkasan titik-titik tinggi di permukaan kontak melalui keausan atau deformasi plastis pada kondisi yang terkendali dalam menjalankan fungsinya sehingga memberikan peningkatan kemantapan kontak (*conform*) dan mengurangi risiko kerusakan lapisan batas selama operasi". Perubahan kondisi permukaan kontak umumnya terjadi ketika permukaan tersebut dibebani untuk pertama kalinya dan digerakkan atau digeser relatif satu sama lain. Perubahan ini biasanya merupakan kombinasi dari banyak hal, seperti penyesuaian sumbu putar, bentuk, kekasaran permukaan, dan penyamaan berbagai sifat mekanik dan kimia antar permukaan yang bergerak (kekerasan mikro, yang dihasilkan oleh proses work hardening atau pembentukan lapisan oksida dan lapisan batas lainnya). Semua perubahan ini adalah penyesuaian dalam meminimalkan aliran energi, baik mekanik atau kimia, antar permukaan yang bergerak [3].

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

Running-in terjadi pada periode awal dalam siklus kehidupan produk komponen kontak roling atau sliding dari sistem yang dilumasi, secara skematik ditunjukkan pada Gambar 1. Sebelum *running-in*, hampir semua pasangan komponen yang berkontak belum "match" satu sama lain. Kemungkinan terdapat *misalignment* awal sedikit dan dapat dipastikan terdapat titik-titik tinggi pada semua permukaan kontak. Awalnya kelonggaran (*clearance*) kecil sehingga aliran pendinginan atau minyak rendah, dan bersama dengan gesekan awal yang lebih tinggi menyebabkan suhu operasi yang lebih tinggi dari biasanya. Selama periode *running-in*, titik-titik tinggi yang tersisa dari proses pemesinan dikurangi melalui aliran deformasi plastis, kekosongan atau void terisi dan geometri kontak secara keseluruhan tercocokkan. Suhu yang lebih tinggi biasanya menyebabkan laju keausan yang lebih tinggi, tetapi ketika kekasaran permukaan menjadi lebih halus dan asperities yang menonjol diratakan, laju keausan akan menuju ke keadaan stabil.

Terdapat dua mekanisme yang dominan pada periode *running-in* yaitu deformasi plastis dan keausan ringan [4]. Mekanisme deformasi plastis mirip dengan pengamplasan, asperities yang tinggi dipangkas menjadi rendah. Perubahan topografi permukaan dapat terjadi pada amplitudo dan/atau tekstur tergantung pada beban dan arah gerakan. Asperities yang lebih tinggi akan terpangkas. Kerugian akibat gesekan biasanya menurun selama periode ini dan kelonggaran kontak akan meningkat, sehingga suhu permukaan kontak akan turun. Laju keausan menurun terus hingga mencapai laju keausan tunak (*steady-state*) sesuai dengan perencanaan awal. Laju keausan selama *running-in*, bahkan ketika misalignment yang minimal, akan lebih tinggi dibandingkan dengan laju keausan pada kondisi normal. Setelah periode *running-in*, dimana durasinya bervariasi dan sangat tergantung pada sistem kontak, kondisi penopangan beban maksimal dapat diterapkan tanpa peningkatan laju keausan yang berarti. Kapasitas daya dukung beban tercapai sesuai dengan kondisi operasi yang didesain. Daerah laju keausan rendah yang stabil dipertahankan selama kondisi operasi. Istilah *steady state* atau tunak didefinisikan sebagai sebuah kondisi yang diberikan oleh sistem kontak (sistem tribologi) dimana koefisien gesekan dinamis rata-rata, laju keausan, dan parameter-parameter spesifik lainnya telah tercapai dan dipertahankan pada tingkat yang relatif konstan [5].



Gambar 1. Grafik keausan dan laju keausan selama periode *running-in* pada siklus kehidupan produk.

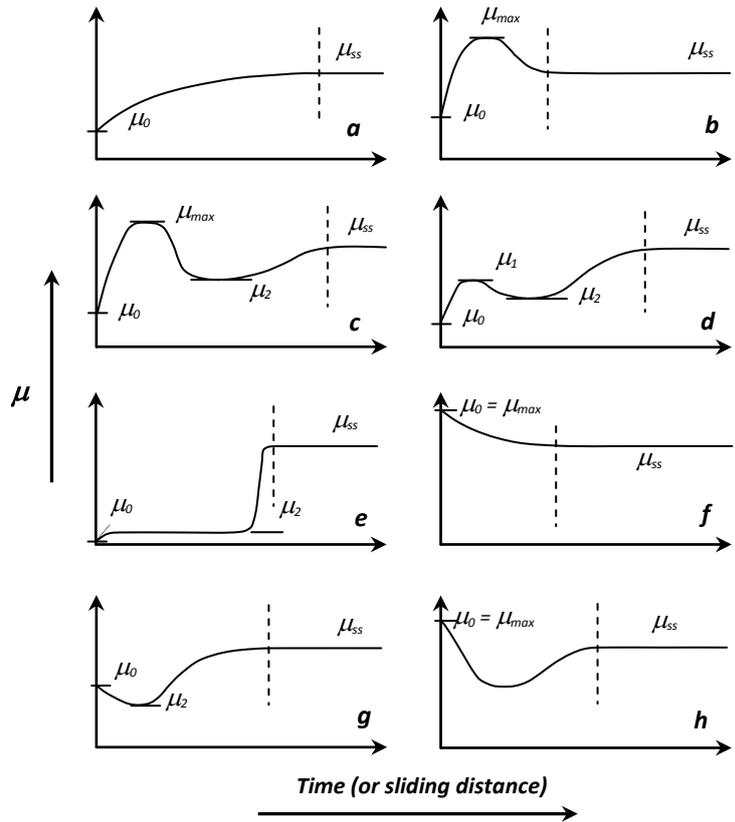
Blau [6] telah mengumpulkan banyak contoh dari hasil-hasil yang terpublikasikan tentang pengujian *running-in* yang menghasilkan grafik yang menggambarkan perilaku gesekan terhadap waktu sliding dan hasil pengujian laboratorium sendiri dalam rangka membangun model *running-in* yang realistis dan bermanfaat [5]. Berdasarkan survei literatur yang telah dilakukan terdapat delapan bentuk umum dari kurva gesekan terhadap waktu sliding yang berhasil ditampilkan seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Bentuk dasar dari delapan kurva transisi tersebut merupakan titik awal untuk mengembangkan model semi-empiris *running-in* Blau. Model ini dapat diwakilkan dalam bentuk yang sederhana yang merupakan perkalian dari dua faktor:

$$\mu(t) = L(t)S(t) \tag{1}$$

dimana $\mu(t)$ adalah koefisien gesekan yang tergantung oleh waktu, $L(t)$ adalah faktor pelumasan yang tergantung waktu, dan $S(t)$ adalah kontribusi material kontak yang tergantung waktu. Setiap faktor dalam model ini kemudian dipecah menjadi bentuk yang sedemikian sehingga memungkinkan besar dan tingkat perubahan terhadap kontribusi gesekan yang berbeda-beda dapat dimasukkan. Beberapa jenis perilaku gesekan dapat direpresentasikan dengan menjumlahkan kontribusi-kontribusi dari berbagai keadaan dan faktor setelah proses penentuan skala waktu dan besaran yang tepat. Dengan menggunakan berbagai macam kombinasi besaran L , D dan T , maka semua delapan bentuk kurva transisi dapat dihasilkan. Model ini disebut juga dengan model fenomenologi.

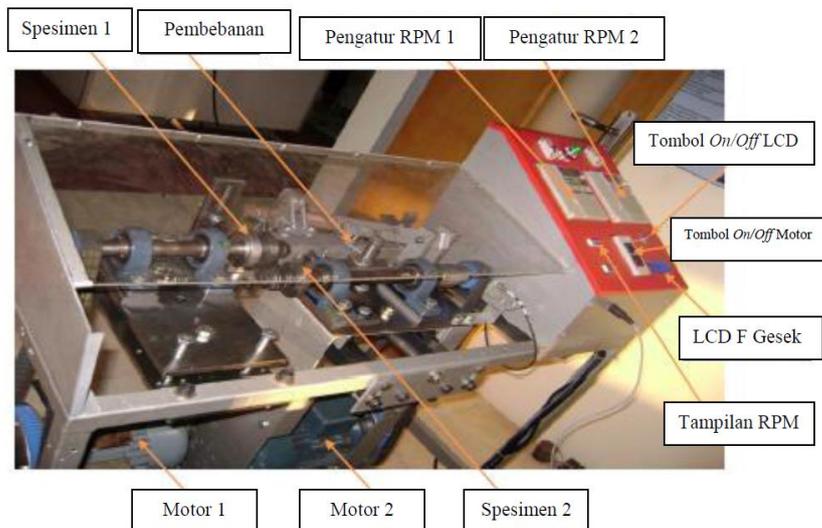
Pengujian *running-in* pada kontak sliding antara bola baja dengan pelat kuningan akan dibahas dalam makalah ini. Tujuannya adalah untuk mempelajari fenomena *running-in* pada sistem kontak tersebut secara deterministik, bukan secara statistik ataupun fenomenologi. Gerakan sliding dipilih karena paling mudah dalam pengendaliannya dan bola baja dipilih untuk mengasumsikan sebagai benda yang rigid sementara pelat kuningan yang kasar digunakan sebagai permukaan datar kasar yang dapat terdeformasi selama proses *running-in*. Perubahan topografi permukaan kasar pada setiap waktu pengambilan data akan ditampilkan sehingga pada akhirnya diperoleh data perubahan topografi sebagai fungsi dari waktu atau jarak sliding. Selain itu, perubahan koefisien gesek juga akan direkam selama proses *running-in*. Rentang periode *running-in* akan dengan mudah dapat dideteksi melalui perubahan koefisien gesek maupun perubahan topografi.



Gambar 2. Bentuk-bentuk umum grafik *running-in* yang sering dijumpai pada sistem kontak [5].

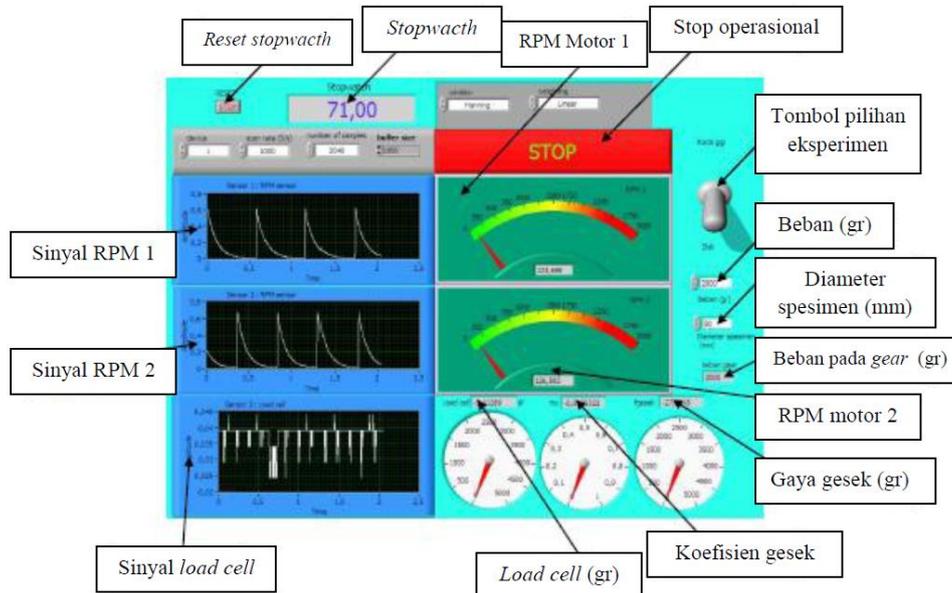
3. PROSEDUR PENGUJIAN

Pada pengujian ini material yang digunakan untuk bola adalah baja S45C dan untuk permukaan kasar adalah kuningan. Kekerasan baja S45C adalah 3.1 GPa sedangkan kekerasan kuningan 1.2 GPa dengan demikian asumsi bahwa bola baja rigid sudah terpenuhi. Kekasaran permukaan bola baja sekitar $0.05 \mu\text{m}$ dan kekasaran permukaan kuningan sekitar $0.8 \mu\text{m}$. Bola baja diasumsikan halus dan rigid sehingga tidak mengalami perubahan topografi sama sekali selama proses *running-in* sedangkan pelat kuningan yang terdeformasi pada geometri mikronya dan tidak terdeformasi secara makro. Akan menjadi sangat sulit bila kedua permukaan kontak sama-sama terdeformasi karena posisi kontak antar asperiti atau mikroskopik tidak pernah diketahui atau sulit dideteksi. Bila yang satu dibuat halus dan rigid maka posisi kontak dimanapun akan selalu bertemu dengan pasangan kontak yang geometrinya tetap dan rigid, contohnya bentuk bola pada kasus indentornya bola rigid.



Gambar 3. Alat uji *two-disc tribometer* [7].

Eksperimen dilakukan pada alat uji *two-disc tribometer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Alat uji ini dikembangkan oleh Londa dkk. [7] untuk pengujian *running-in*. Untuk mengontrol gerakan masing-masing disk maka alat ini dilengkapi dengan sistem pengendali yang dapat mengatur putaran pada tiap-tiap disk. Hal ini dimaksudkan untuk pengujian yang memerlukan adanya rasio slip dimana efek slip akan mempengaruhi karakteristik tribologi. Gambar 4 menunjukkan system control yang digunakan pada alat uji ini. Pada kondisi kontak sliding, disk pertama dibuat diam dan disk kedua yang divariasikan putarannya.



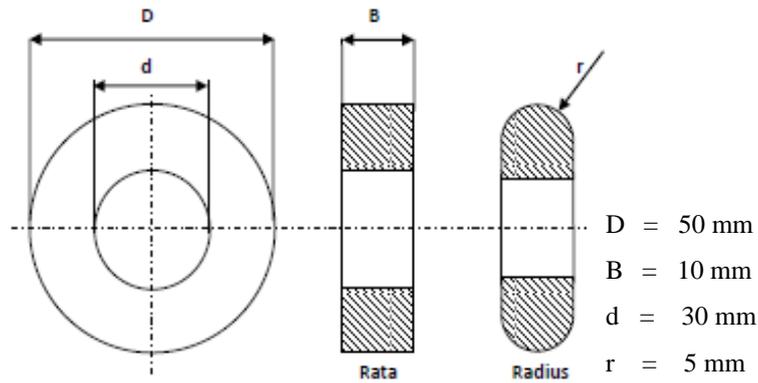
Gambar 4. Display pengendali alat uji *two disc tribometer* [7].

Prosedur pengujiannya secara garis besar adalah sebagai berikut. Pertama specimen uji (kedua disk) dibersihkan dengan etanol kemudian dikeringkan. Setelah itu dipasang pada pada alat uji *two disc tribometer*. Alat ukur kekasaran permukaan juga dipasang pada alat uji sedemikian sehingga dapat mengukur pada titik yang sama untuk kondisi sebelum dan sesudah pengujian. Hal ini sangat penting karena data perubahan topografi permukaan akibat proses *running-in* akan terekam dengan baik pada tempat yang sama. Bila terjadi pergeseran lokasi pengukuran maka akan sulit untuk membandingkan perubahan topografi permukaan. Sebelum proses *running-in* dijalankan dilakukan pengambilan data kekasaran permukaan pada pelat kasar kuningan. Setelah itu permukaannya dilumasi agar kontak yang terjadi tidak dalam keadaan kering. Sebagai catatan, kontak kering fenomenanya lebih kompleks lagi dan tidak akan dibahas pada penelitian ini. Pelumas ini akan dibersihkan ketika akan mengukur kekasaran permukaan pada waktu berikutnya. Pelumas diberikan lagi pada saat running selanjutnya.

Berikutnya adalah mengatur rpm 1 dan rpm 2 pada tombol pengatur. Rpm 1 dibuat nol untuk kasus kontak sliding. Pengujian ini menggunakan waktu sliding selama 60 detik dan pada setiap 10 detik dilakukan pengambilan data kekasaran permukaan. Pada saat pengambilan data tersebut alat uji dihentikan. Proses ini dilakukan terus hingga mencapai 60 detik. Data koefisien gesekan sudah terekam pada system sehingga tidak perlu perlakuan tambahan selama mesin dihentikan. Pada pengujian ini sliding yang digunakan memiliki nilai slip S sebesar 200% berdasarkan persamaan yang diusulkan oleh [8] berikut:

$$S = \frac{|V_1 - V_2|}{V_1 + V_2} \times 200\% \tag{1}$$

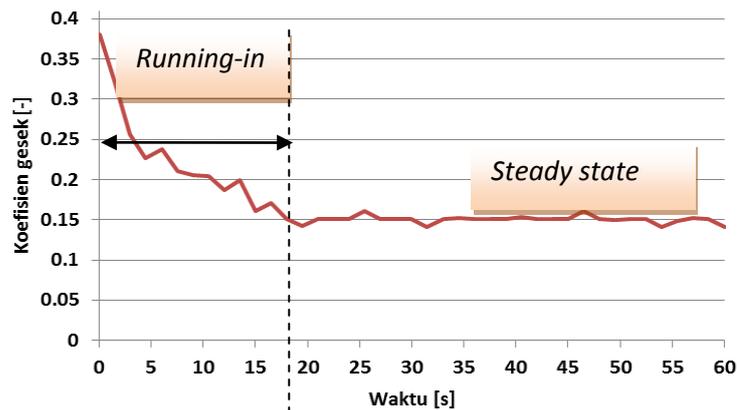
dimana S adalah rasio antara sliding terhadap roling, V_1 adalah kecepatan disk pertama dan V_2 adalah kecepatan disk kedua. Gambar 5 memperlihatkan detil geometri specimen uji pertama dan kedua. Spesimen uji baja permukaannya dibuat melengkung dengan radius r tertentu. Hal ini dimaksudkan agar kontak yang terjadi terlokalisir pada daerah tertentu sehingga memudahkan dalam pemantuan daerah kontak. Selain itu, dengan system kontak tersebut maka beban yang diperlukan akan jauh lebih kecil dibandingkan dimensi lain untuk mencapai tekanan kontak rata-rata Hertzian tertentu. Spesimen uji pasangannya yang mampu berdeformasi dibuat rata supaya kontur kekasarannya dalam bidang rata sehingga proses pengambilan data kekasaran permukaan lebih mudah terlebih bila menggunakan stylus profilometer.



Gambar 5. Dimensi spesimen uji yang digunakan pada *running-in* kontak sliding.

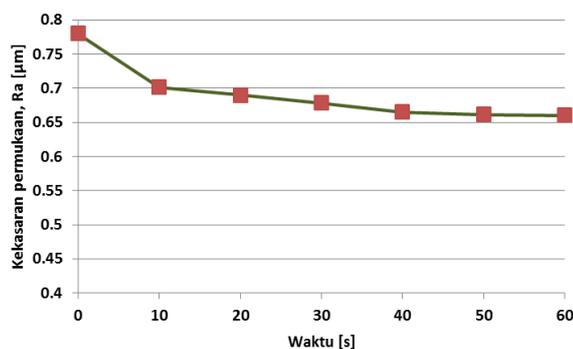
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 menunjukkan perubahan koefisien gesek selama proses kontak sliding. Terlihat di sini bahwa koefisien gesek awalnya tinggi kemudian turun hingga mencapai waktu sekitar 20 detik dan kemudian relatif konstan setelahnya. Hal ini menjadi indikasi bahwa proses *running-in* terjadi pada 20 detik pertama. Koefisien gesek tidak mulus melainkan terdapat grafik yang naik turun atau berfluktuasi yang diakibatkan oleh kekasaran permukaan itu sendiri. Namun demikian secara umum hasil pengukuran koefisien gesekan sudah sesuai dengan perkiraan dan menunjukkan hasil yang baik.



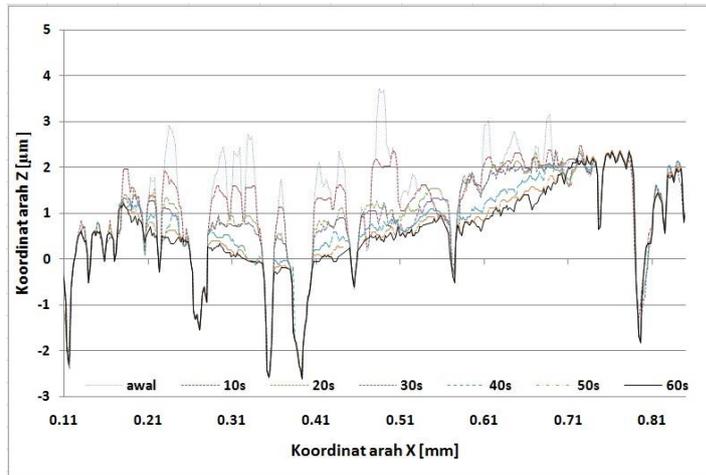
Gambar 6. Perubahan koefisien gesekan pada *running-in* kontak sliding.

Perubahan nilai kekasaran permukaan selama proses kontak sliding ditampilkan pada Gambar 7. Di sini nilai kekasaran permukaan rata-rata aritmetik Ra digunakan. Nilai Ra cenderung turun dari awal hingga mencapai waktu sekitar 20 detik dan kemudian relative tidak banyak perubahan. Hasil ini cukup konsisten dengan hasil pengukuran perubahan koefisien gesek pada Gambar 6. Proses *running-in* pada 20 detik pertama merupakan proses pemotongan titik-titik tertinggi pada permukaan kasar. Oleh karena itu nilai kekasarnya akan berkurang hingga nilai tertentu sehingga beban kontak sudah ditopang secara elastis.



Gambar 7. Perubahan kekasaran permukaan pada *running-in* kontak sliding.

Gambar 8 menunjukkan lebih detail perubahan topografi permukaan secara mikro selama proses kontak sliding. Terlihat jelas di sini proses pemangkasan asperiti yang memiliki tonjolan-tonjolan tinggi. Pada pengukuran topografi waktu 20 ke atas masih terjadi perubahan topografi namun tidak banyak dan kontur secara global sudah mengikuti dimensi radius specimen baja. Daya dukung beban semakin bertambah diiringi dengan peningkatan luas permukaan kontak. Pada sisi kiridan sisi kanan tidak mengalami kontak sehingga tidak terjadi perubahan topografi dan kedua daerah ini dijadikan sebagai daerah referensi dalam perhitungan perubahan topografi.



Gambar 8. Perubahan topografi mikroskopik permukaan pada *running-in* kontak sliding.

5. KESIMPULAN

Running-in merupakan proses adaptasi antar komponen yang berkontak menuju keadaan setimbang, sehingga proses ini sangat menentukan panjang umur sebuah sistem kontak. Kaji eksperimental semi-online *running-in* pada kondisi kontak sliding dengan rasio slip 200% telah dilakukan pada bola baja rigid halus bergerak relatif terhadap pelat kuningan datar kasar yang mampu terdeformasi.

Fenomena *running-in* dapat dipelajari melalui grafik perubahan koefisien gesekan dan perubahan topografi permukaan yang berkontak sebagai fungsi dari waktu sliding. Periode *running-in* kontak sliding dapat dideteksi melalui perubahan koefisien gesekan dan dikonfirmasi dengan perubahan kekasaran permukaan. Detail perubahan topografi permukaan selama proses *running-in* juga dapat didemonstrasikan dengan sangat baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kraghelsky, V., Dobychnun, M.N. and Kombalov, V.S., 1982, *Friction and Wear Calculation Methods*, Pergamon Press, Oxford.
- [2] Summer-smith, J.D., 1994, *An Introductory Guide to Industrial Tribology*, Mechanical Engineering Publications Limited, London.
- [3] Whitehouse, D.J., 1994, *Handbook of Surface Metrology*, Institute of Physics Publishing.
- [4] Whitehouse, D.J., 1980, "The effect of surface topography on wear," *Fundamentals of Tribology*, edited by Suh and Saka, MIT, pp. 17 – 52.
- [5] Blau, P.J., 1989, *Friction and Wear Transitions of Materials*, Noyes, Park Ridge, NJ.
- [6] Blau, P.J., 1981, "Interpretations of the friction and wear break-in behavior of metal in sliding contact," *Wear* 71, pp. 29-43.
- [7] Londa, P., Hidayat, T., Supriyana, N., Jamari & Widyanto, S.A., 2013, "Rancang bangun alat uji *running-in* untuk sistem kontak two-disc," *ROTASI*, 14(2), pp. 24-30.
- [8] Schipper, D.J., 1988, *Transitions in the Lubrication of Concentrated Contacts*, PhD Thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands.