

# Studi Eksperimental *Stick-Slip Friction* Akibat *Multi-Directional Contact Friction* dengan Material Uji *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) Terhadap *Stainless Steel* (AISI 304)

Roy Yamsi Kurnia dan Yusuf Kaelani.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: y\_kaelani@me.its.ac.id

**Abstrak**—Apabila dua buah atau lebih benda yang mengalami kontak dan bergerak relatif satu sama lain maka akan menimbulkan gaya gesek yang dapat menyebabkan terjadinya keausan. Pada kecepatan tertentu, sering terjadi suatu fenomena dimana keausan yang terjadi lebih besar dibandingkan yang lain. Fenomena tersebut disebabkan oleh adanya *Stick-Slip Friction*. Namun, masih sedikit penelitian mengenai gesekan tersebut. Penelitian dilakukan dengan menganalisa kinematika gerakan spesimen untuk menentukan pada rasio kecepatan berapakah *stick-slip* terjadi. Kemudian, hal tersebut dibuktikan dengan pengambilan data volume keausan menggunakan tribometer tipe *Pin-on-disk* dengan material *Ultra high molecular weight polyethylene* (UHMWPE) sebagai pin uji dan *Stainless steel* sebagai *disk*, dimana masing-masing pin dan *disk* akan bergerak secara rotasi. Masing-masing pengujian divariasikan berdasarkan rasio kecepatan antara pin dengan *disk*, yaitu rasio kecepatan antara 4,2; 5; 6,5; 10; dan 20 rpm/rpm. Pengujian dilakukan dengan pin digesekkan sepanjang 2000 meter dan diberikan pembebanan 4kg serta diberikan variasi dari radius pin. Selanjutnya spesimen diamati struktur permukaannya menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 5x dan 10x sehingga diketahui mekanisme keausannya, sedangkan data hasil pengujian selanjutnya diolah untuk diketahui laju keausan (*wear coefficient*) dari spesimen uji. Hasil dari penelitian ini adalah Pada saat rasio kecepatan 4,2 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 9 mm dari pusat pin, ketika rasio kecepatan 5 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 8 mm dari pusat pin, saat rasio kecepatan 6,5 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 6 mm dari pusat pin, kemudian saat rasio kecepatan 10 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 4 mm dari pusat pin, dan saat rasio kecepatan 20 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 2 mm dari pusat pin. Laju keausan benda yang mengalami *stick-slip friction* lebih tinggi jika dibandingkan dengan benda yang mengalami *uni-directional contact friction*. Mekanisme keausan yang terjadi pada saat fenomena *stick-slip* terjadi adalah keausan abrasif dan adhesif.

**Kata Kunci**—*Multi-directional contact, Stick-slip friction*

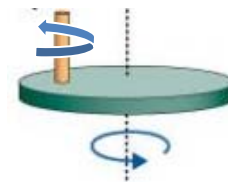
## I. PENDAHULUAN

SALAH satu faktor yang mempengaruhi umur pakai sebuah mesin adalah adanya gesekan satu sama lain yang terjadi bila komponen-komponen dalam permesinan saling kontak. Gaya gesek atau *friction* yang terjadi pada benda padat terdiri dari dua jenis, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Namun, gesekan dapat saja mempunyai gabungan antara statis dan kinetis. Gesekan tersebut adalah *stick-slip friction*. *Stick-*

*slip friction* juga terjadi ketika gerakan suatu benda mencapai kecepatan nol atau diam seketika kemudian bergerak kembali. Salah satu contoh fenomena *stick-slip friction* di kehidupan sehari-hari adalah bunyi yang timbul pada pintu ketika bergesekan dengan lantai saat hendak digerakkan dan suara yang timbul ketika dawai bergesekan dengan senar biola[2].

*Stick-slip friction* dapat menimbulkan keausan yang besar. Namun, penelitian-penelitian terkait keausan akibat *stick-slip friction* masih jarang dilakukan. Sedangkan fenomena *stick-slip friction* tidak jarang ditemui dan dampak dari fenomena tersebut dapat menimbulkan kerusakan yang besar. Fenomena ini sangat sering terjadi pada gesekan dengan kontak searah maupun gesekan dengan kontak banyak arah. Aplikasi gesekan dengan kontak banyak arah (*multi-directional*) salah satunya yaitu pada sendi panggul buatan. Pada sendi panggul buatan, terdapat *ball joint* dengan material *stainless steel* yang bergerak dengan kontak banyak arah dan bergesekan dengan tempurung yang terbuat dari material UHMWPE. Untuk itulah perlu dilakukan penelitian terkait keausan yang dipengaruhi oleh *stick-slip friction* akibat gesekan dengan kontak banyak arah (*multi-directional*).

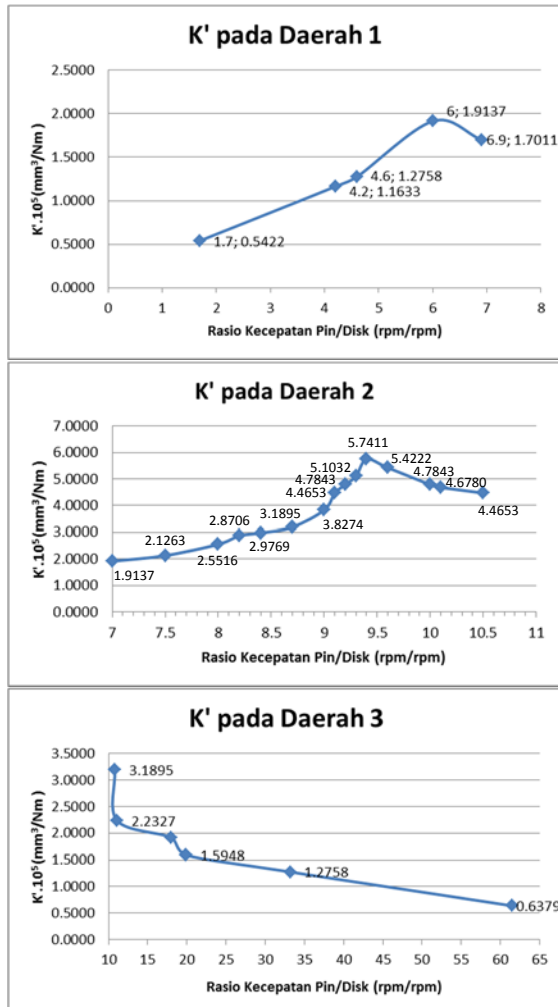
Penelitian sebelumnya yang dilakukan menggunakan tribometer *pin-on-disk* dengan kontak gesek banyak arah (*multi-directional*) telah dilakukan oleh Dewi pada tahun 2015. Kajian tribologi dalam penelitian Dewi yang berjudul “Studi Eksperimental dan Analisa Keausan Permukaan yang Dipengaruhi Oleh *Stick-Slip Friction* Akibat *Multi-Directional Contact Friction*”. Pada penelitiannya dilakukan pengujian secara eksperimental untuk menguji keausan antara UHMWPE dengan *stainless steel* pada kondisi *multi-directional sliding*. Model pengujian yang dilakukan Dewi seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [2].



Gambar. 1. Model pengujian pada penelitian Dewi [2]

Pada Gambar 1. dapat dilihat model pengujian yang dilakukan oleh Dewi dimana pin berwarna kuning berputar berlawanan dengan arah jarum jam dengan pembebanan ke arah bawah, sedangkan *disk* berwarna hijau bergerak rotasi. Secara garis besar pada penelitian ini dilakukan dua macam

pengujian, yaitu pengujian tanpa pelumasan (*dry sliding*) dan pengujian dengan pelumasan (*wet sliding*). Masing-masing spesimen uji diberikan jarak tempuh gesekan yang sama, yaitu sejauh 850 meter. Dengan pembebanan (2kg, 4kg, 6kg dan 8kg) dengan rasio kecepatan pin dan disk sebesar 1.7 sampai 61.5 rpm/rpm. Berikut ini adalah hasil dari pengujian keausan yang dilakukan Dewi. Gambar 2 adalah hasil dari pengujian keausan yang dilakukan Dewi. [1]

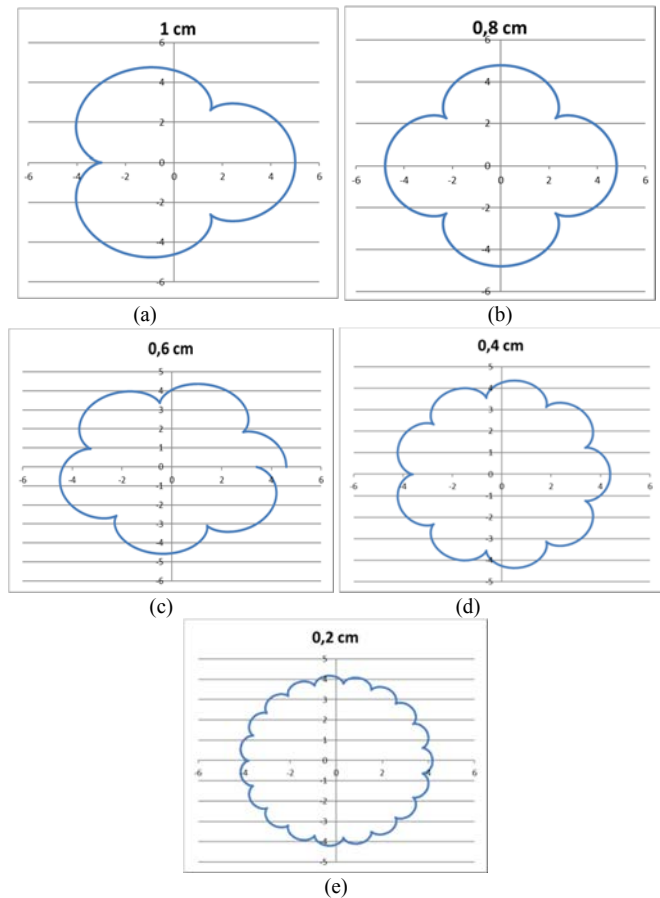


Gambar. 2. Hasil penelitian Dewi untuk pengujian laju keausan pada rasio kecepatan 1,7-6,9 rpm/rpm [2]

Hasil penelitian yang dilakukan Dewi adalah terdapat tiga daerah yang dapat dikelompokkan berdasarkan rasio kecepatan antara pin dengan disk, yaitu daerah sebelum terjadi *stick-slip* (rasio 1,7-6,9 rpm/rpm), daerah rawan terjadi *stick-slip* (rasio 7-10,5 rpm/rpm), dan daerah setelah terjadi *stick-slip* (rasio 10,8-61,5 rpm/rpm). Nilai laju keausan cenderung meningkat pada rasio kecepatan 1,7 sampai dengan 9,4. Kemudian nilai laju keausan akan menurun dengan bertambahnya rasio kecepatan. Nilai laju keausan maksimal terdapat pada rasio kecepatan 9,4 dimana fenomena *stick-slip friction* kerap terjadi paling signifikan. Mekanisme keausan yang terjadi pada saat fenomena *stick-slip* terjadi adalah keausan abrasif dan adhesif.

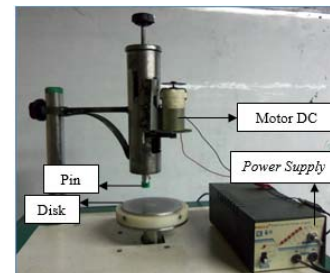
## II. URAIAN PENELITIAN

Langkah awal dalam penelitian ini adalah menganalisa gerakan kinematika spesimen untuk menentukan rasio berapa saja *stick-slip* terjadi. Gerakan kinematika titik P pada disk dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar. 3. Grafik Perubahan Posisi Titik setiap radius pin pada Disk (a)  $\omega$  pin = 4 x  $\omega$  disk (b)  $\omega$  pin = 5 x  $\omega$  disk (c)  $\omega$  pin = 6,7x  $\omega$  disk (d)  $\omega$  pin = 10x  $\omega$  disk (e)  $\omega$  pin = 20x  $\omega$  disk

Selanjutnya melakukan persiapan alat uji. Alat uji yang digunakan untuk pengambilan data pada penelitian ini adalah tribometer tipe *pin on disk*. Tribometer merupakan alat untuk mengetahui laju keausan dari suatu material yang melakukan kontak. Persiapan yang dilakukan adalah *set-up* alat tribometer tipe *pin on disk* yang dimodifikasi, pengaturan *speed control* dan *load* (pembebanan) serta kalibrasi ulang dari setiap komponen yang ada pada alat tribometer tipe *pin on disk*. *Set-up* alat uji dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar. 4. Tribometer tipe *pin on disk* [2]

Sebelum alat uji digunakan, tribometer yang akan digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi *speed control* dilakukan dengan menggunakan *tachometer infrared*. Berdasarkan hasil kalibrasi, didapatkan variasi-variasi rasio kecepatan antara pin dengan *disk* yang mampu dilaksanakan pada alat tribometer *pin on disk*, yaitu sebanyak 200 variasi rasio kecepatan.

Kemudian untuk menentukan variabel uji yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan analisa kinematika gerakan spesimen. Analisa tersebut dilakukan untuk menentukan variasi rasio kecepatan berapa fenomena *stick-slip* kerap terjadi. Dari hasil analisa kinematika ditinjau sebuah titik P pada permukaan pin yang berada dalam koordinat lokal yang berjarak 4 mm dari pusat pin, sedangkan pin tersebut berada dalam koordinat global pada disk yang berjarak 40 mm dari pusat disk. Dari keseluruhan rasio kecepatan yang mampu diterapkan pada alat uji, terdapat 5 rasio kecepatan yang dianalisa. Daerah pertama yaitu pada rasio kecepatan 4,2. Daerah yang kedua yaitu dengan rasio kecepatan 5, yang ketiga yaitu pada rasio 6,5; yang keempat yaitu rasio kecepatan 10. Kemudian yang terakhir pada rasio 20.

Lamanya waktu pengujian dihitung dengan menggunakan formulasi berikut[3]:

$$t = \frac{L}{\pi.d.n} \quad (1)$$

Keterangan :

- t = waktu pengujian (menit)
- L = *sliding distance* = 2000 (meter)
- d = diameter *wear track* pin pada disk (meter)
- n = kecepatan putaran disk (putaran/menit)

Persiapan penelitian selanjutnya terdiri dari persiapan spesimen yang terdiri dari pin dan disk. Gambar 5 merupakan gambar dari spesimen uji yang digunakan.



Gambar. 5. Spesimen uji (a) Pin, dan (b) Disk

Sebelum dilakukan pengambilan data, seluruh pin spesimen uji ditimbang menggunakan timbangan digital. Kemudian dilakukan pengambilan data dengan menggunakan tribometer *pin on disk*. Setelah dilakukan pengambilan data, seluruh spesimen uji ditimbang kembali menggunakan timbangan digital. Kemudian dilakukan pengolahan data dan analisa visual spesimen uji menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 5x dan 10x.

Pengolahan data yang dilakukan dengan mencari nilai laju keausan yang kemudian akan diplot ke dalam grafik. Perumusan yang dilakukan adalah sebagai berikut. Perubahan massa pin  $\Delta m$  didapatkan dengan menimbang pin sebelum dilakukan pengujian dan kemudian ditimbang lagi menggunakan timbangan digital setelah dilakukan pengujian. Setelah  $\Delta m$  diketahui, berikutnya mulai menghitung perubahan volume  $\Delta V$  pin yang terjadi dengan menggunakan rumus seperti persamaan 2 ini [4]:

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (2)$$

Maka *wear coefficient* K' dapat dicari dengan rumus [4]:

$$K' = \frac{\Delta V}{load \cdot distance} \left( \frac{mm^3}{Nm} \right) \quad (3)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

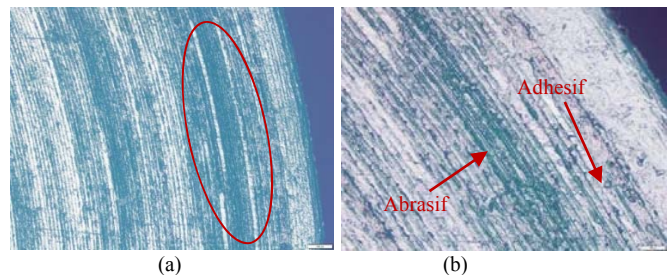
Pada bagian ini dibahas dan dianalisa hasil eksperimen tentang laju keausan antara *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) dengan *Stainless Steel* (AISI 304). Pembahasan yang dilakukan yaitu meliputi, analisa keausan yang dipengaruhi oleh *Stick-slip Friction* akibat adanya *Multi-Directional Contact Friction*.

#### A. Analisa *stick-slip friction* pada permukaan pin.

Perbedaan besar dan arah kecepatan gesek pin terhadap disk selain menyebabkan perbedaan laju keausan juga menyebabkan perbedaan bentuk dan dimensi keausan yang terbentuk pada permukaan pin. Dimana terdapat perbedaan dari pola-pola dan letak dari mekanisme keausan yang terjadi pada masing-masing rasio kecepatan.

##### 1) Pengujian Rasio Kecepatan 4,2

Pengambilan data pertama dilakukan pada rasio kecepatan 4,2. Dimana kecepatan putaran disk adalah 48,3 rpm dan kecepatan putaran pin adalah 202,899 rpm. Hasil foto mikroskop dari permukaan pin ditunjukkan pada Gambar 6.



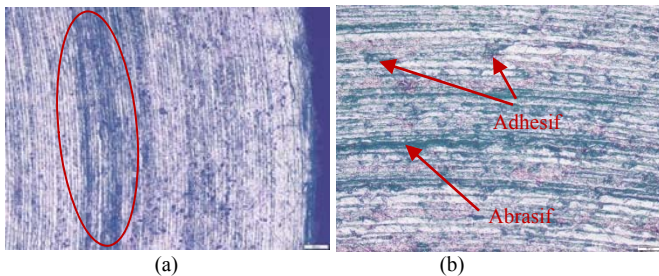
Gambar 6. Foto Mikro Permukaan Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian Untuk Rasio Kecepatan 4,2 dengan perbesaran (a) 5x dan (b) 10x.

Pada Gambar 6 dapat dilihat pola keausan yang terbentuk pada permukaan, setelah dilakukan pengujian. Pada Gambar 6 merupakan permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 4,2 dengan 5x dan 10x perbesaran. Dapat ditemukan banyak goresan, dengan arah yang relatif sama, dengan posisi satu sama lain yang berhimpit. Hal tersebut dapat diamati pada Gambar 6.a yg telah dilingkari warna merah dimana daerah tersebut diindikasikan mengalami fenomena *stick-slip*. Ketika pengamatan dilanjutkan pada Gambar 6.b yang merupakan permukaan dengan perbesaran 10x dapat dilihat goresan-goresan yang memiliki ukuran yang panjang dan lebar yang mengindikasikan terjadinya mekanisme keausan bersifat abrasif serta terdapat juga banyak bintik-bintik berwarna hijau yang merupakan material yang terkelupas akibat mekanisme keausan yang bersifat adhesif. Fenomena ini terjadi karena terjadinya efek *stick-slip friction* pada daerah tersebut. Dimana berdasarkan analisa kinematika saat rasio kecepatan 4,2 diperkirakan efek *stick-slip friction* terjadi pada radius 9 mm dari pusat pin. Sehingga dapat dilihat pada Gambar.6, mekanisme keausan terjadi pada radius terluar dari pin.



### 2) Pengujian Rasio Kecepatan 5

Pengambilan data kedua dilakukan pada rasio kecepatan 5. Dimana kecepatan putaran disk adalah 52,4 rpm dan kecepatan putaran pin adalah 262,35 rpm. Hasil foto mikroskop dari permukaan pin ditunjukkan pada Gambar 7.

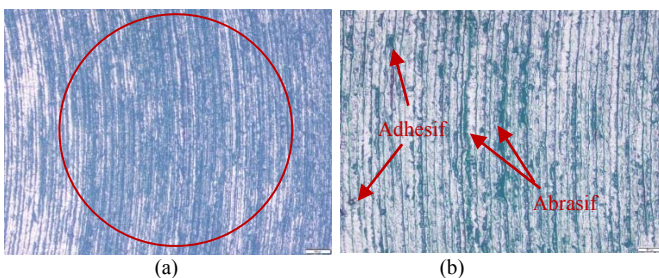


Gambar.7. Foto Mikro Permukaan Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian Untuk Rasio Kecepatan 5 dengan perbesaran (a) 5x dan (b) 10x.

Pada Gambar 7 di atas dapat dilihat pola keausan yang terbentuk pada permukaan, setelah dilakukan pengujian pada rasio kecepatan 5, dengan perbesaran 5x dan 10x. Dapat ditemukan banyak goresan, dengan arah yang relatif sama, dengan posisi satu sama lain yang berhimpit, hal tersebut dapat diamati pada Gambar 7a yang telah dilingkari warna merah dimana daerah tersebut diindikasikan mengalami fenomena *stick-slip*. Pola ini mirip pada permukaan saat rasio kecepatan 4,2 hanya letaknya berbeda cenderung lebih ke dalam. Ketika pengamatan dilanjutkan pada Gambar 7.b yang merupakan permukaan dengan perbesaran 10x dapat dilihat goresan-goresan yang memiliki ukuran yang cukup panjang dan lebar yang mengindikasikan terjadinya mekanisme keausan yang bersifat abrasif serta terdapat juga banyak bintik-bintik berwarna hijau yaitu material yang terkelupas akibat mekanisme keausan yang bersifat adhesif. Fenomena ini terjadi karena terjadinya efek *stick-slip friction* pada daerah tersebut. Dimana berdasarkan analisa kinematika saat rasio kecepatan 5 diperkirakan efek *stick-slip friction* terjadi pada radius 8 mm dari pusat pin, sehingga dari gambar terlihat bahwa letak goresan-goresan pada permukaan lebih kedalam jika dibandingkan dengan Gambar 6 saat rasio kecepatan 4,2

### 3) Pengujian Rasio Kecepatan 6,5

Pengambilan data ketiga dilakukan pada rasio kecepatan 6,5. Dimana kecepatan putaran disk adalah 31,4 rpm dan kecepatan putaran pin adalah 202,899 rpm. Hasil foto mikroskop dari permukaan pin ditunjukkan pada Gambar 8.

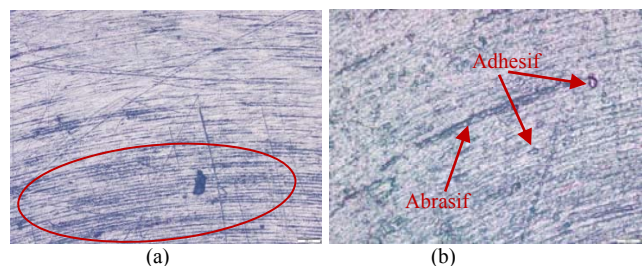


Gambar.8. Foto Mikro Permukaan Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian Untuk Rasio Kecepatan 6,5 dengan perbesaran (a) 5x dan (b) 10x.

Pada Gambar.8. dapat dilihat pola keausan yang terbentuk pada permukaan, setelah dilakukan pengujian. Pada Gambar 8 merupakan permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 6,5 dengan perbesaran foto adalah 5x dan 10x. Dapat ditemukan banyak goresan, dengan arah yang relatif sama, dengan posisi satu sama lain yang berhimpit, namun terlihat bahwa goresan tersebut merata pada permukaan pin. Hal tersebut dapat diamati pada Gambar 8.a yang telah dilingkari warna merah dimana daerah tersebut diindikasikan mengalami fenomena *stick-slip*. Ketika pengamatan dilanjutkan pada Gambar 8.b yang merupakan permukaan dengan perbesaran 10x dapat dilihat goresan-goresan yang memiliki ukuran yang cukup panjang namun sedikit lebih sempit, yang mengindikasikan terjadinya mekanisme keausan yang bersifat abrasif serta terdapat juga banyak bintik-bintik berwarna hijau yaitu material yang terkelupas akibat mekanisme keausan yang bersifat adhesif. Fenomena ini terjadi karena terjadinya efek *stick-slip friction* pada daerah tersebut. Dimana berdasarkan analisa kinematika saat rasio kecepatan 6,5 efek *stick-slip friction* diperkirakan terjadi pada radius 6 mm dari pusat pin.

### 4) Pengujian Rasio Kecepatan 10

Pengambilan data keempat dilakukan pada rasio kecepatan 10. Dimana kecepatan putaran disk adalah 43,6 rpm dan kecepatan putaran pin adalah 437,413 rpm. Hasil foto mikroskop dari permukaan pin ditunjukkan pada gambar berikut ini.



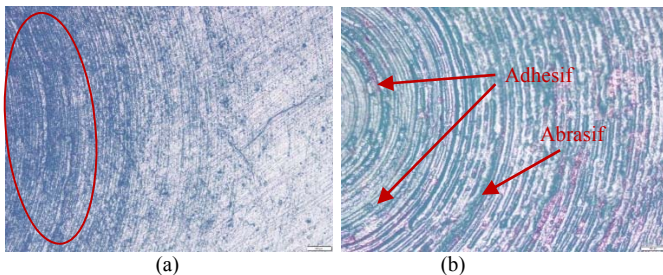
Gambar.9. Foto Mikro Permukaan Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian Untuk Rasio Kecepatan 10 dengan perbesaran (a) 5x dan (b) 10x.

Pada Gambar 9 dapat dilihat pola keausan yang terbentuk pada permukaan, setelah dilakukan pengujian pada rasio kecepatan 10, dengan perbesaran 5x dan 10x pada mikroskop optis. Dapat ditemukan banyak goresan, dengan arah yang relatif sama, dengan posisi satu sama lain yang berhimpit. Hal tersebut dapat diamati pada gambar 9.a yang telah dilingkari warna merah dimana daerah tersebut diindikasikan mengalami fenomena *stick-slip*. Ketika pengamatan dilanjutkan pada Gambar 9.b yang merupakan permukaan dengan perbesaran 10x dapat dilihat goresan-goresan yang memiliki ukuran yang cukup panjang dan agak lebar yang mengindikasikan terjadinya mekanisme keausan yang bersifat abrasif serta terdapat juga banyak bintik-bintik berwarna hijau yaitu material yang terkelupas akibat mekanisme keausan yang bersifat adhesif. Fenomena ini terjadi karena terjadinya efek *stick-slip friction* pada daerah tersebut. Dimana berdasarkan analisa kinematika saat rasio kecepatan 10 diperkirakan efek *stick-slip friction* terjadi pada radius 4 mm dari pusat pin. Sehingga dapat dilihat pada Gambar 9 mekanisme keausan

terjadi pada radius lebih mendekati pusat pin jika dibandingkan dengan Gambar 8 saat rasio kecepatan 6,5.

5) *Pengujian Rasio Kecepatan 20*

Pengambilan data kelima dilakukan pada rasio kecepatan 20. Dimana kecepatan putaran disk adalah 16,9 rpm dan kecepatan putaran pin adalah 337,986 rpm. Hasil foto mikroskop dari permukaan pin ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar.10. Foto Mikro Permukaan Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian Untuk Rasio Kecepatan 20 dengan perbesaran (a) 5x dan (b) 10x.

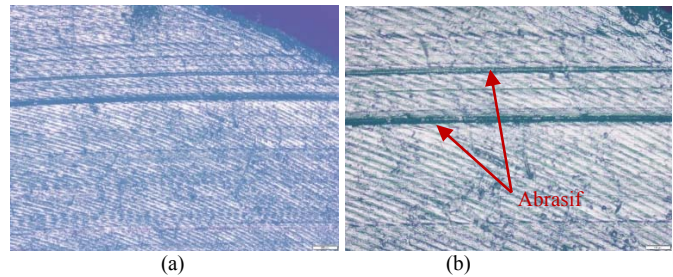
Pada Gambar 10 di atas dapat dilihat pola keausan yang terbentuk pada permukaan, setelah dilakukan pengujian. Pada Gambar 10 merupakan permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 20 dengan perbesaran 5x dan 10x pada mikroskop optis. Dapat ditemukan banyak goresan, dengan arah yang relatif sama, dengan posisi satu sama lain yang berhimpit. Hal tersebut dapat diamati pada gambar 10.a yang telah dilingkari warna merah dimana daerah tersebut diindikasikan mengalami fenomena *stick-slip*. Ketika pengamatan dilanjutkan pada Gambar 10.b yang merupakan permukaan dengan perbesaran 10x dapat dilihat goresan-goresan yang memiliki ukuran yang cukup panjang dan lebar yang mengindikasikan terjadinya mekanisme keausan yang bersifat abrasif serta terdapat juga banyak titik-titik berwarna hijau yang merupakan material yang terkelupas akibat mekanisme keausan yang bersifat adhesif. Fenomena ini terjadi karena terjadinya efek *stick-slip friction* pada daerah tersebut. Dimana berdasarkan analisa kinematika saat rasio kecepatan 20 diperkirakan efek *stick-slip friction* terjadi pada radius 2 mm dari pusat pin. Sehingga dapat dilihat pada Gambar 10, mekanisme keausan terjadi pada daerah yang sangat dekat dengan pusat daripada pin.

6) *Pengujian Uni-Directional Contact*

Pengambilan data ini dilakukan pada kondisi *uni-directional contact*. Dimana kecepatan putaran disk adalah 24,3 rpm dan pin berada pada posisi tidak berputar atau diam sehingga pin hanya digesek satu arah oleh disk tersebut. Hasil foto mikroskop dari permukaan pin ditunjukkan pada Gambar 11.

Pada Gambar 11 di atas dapat dilihat berbagai pola keausan yang terbentuk pada permukaan, setelah dilakukan pengujian. Pada Gambar 11 merupakan permukaan spesimen uji dengan kondisi *uni-directional contact*, dengan perbesaran 5x dan 10x dari mikroskop optis. Dapat ditemukan banyak goresan, dengan arah lurus dari luar pin memotong lurus ke dalam pin, dengan posisi satu sama lain yang berhimpit dan searah. Ketika pengamatan dilanjutkan pada Gambar 11.b yang merupakan permukaan dengan perbesaran 10x dapat dilihat goresan memiliki ukuran yang cukup panjang dan agak lebar

yang mengindikasikan terjadinya mekanisme keausan yang bersifat abrasif. Dimana berdasarkan analisa kinematika saat pin diam (tidak berotasi) tidak terjadi efek *stick-slip*.



Gambar.11. Foto Mikro Permukaan Spesimen Setelah Dilakukan Pengujian *Uni-Directional Contact* dengan perbesaran (a) 5x dan (b) 10x.

Apabila dibandingkan foto mikro permukaan spesimen dengan yang sebelumnya maka dapat disebutkan bahwa permukaan yang mengalami efek *stick-slip* memiliki mekanisme abrasif yang lebih banyak dan posisinya memanjang dan saling berhimpit serta mempunyai bercak-bercak yang merupakan material yang terkelupas akibat dari mekanisme keausan yang bersifat adhesif. berbeda dengan permukaan yang tidak mengalami efek *stick-slip* yang memiliki goresan yang panjang yang bentuknya searah dengan arah gesekan dari putaran disk.

B. *Analisa Laju Keausan*



Gambar.12. Grafik perbandingan laju keausan *stick-slip friction* dengan *uni-directional contact friction*.

Grafik pada Gambar 12 merupakan grafik yang membandingkan laju keausan *stick-slip friction* dengan *multi-directional contact friction*. Pada *trendline* warna biru menunjukkan hubungan antara besarnya laju keausan dengan perubahan rasio kecepatan antara pin dan disk, kemudian pada *trendline* warna merah menunjukkan laju keausan saat kondisi *uni-directional contact* dengan pengujian gesekan tanpa pelumas material UHMWPE terhadap material *stainless steel*. Pada grafik tersebut ditampilkan besarnya laju keausan dengan satuan mm<sup>3</sup>/Nm sebagai sumbu vertikal dan perubahan rasio kecepatan dengan satuan rpm/rpm sebagai sumbu horizontal. Pada grafik tersebut, dibandingkan harga laju keausan dari 5 buah rasio kecepatan yang berbeda.

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa besar laju keausan untuk rasio kecepatan 4,2 adalah 6.472 x 10<sup>-5</sup> mm<sup>3</sup>/Nm, untuk rasio kecepatan 5 adalah 8.09022 x 10<sup>-6</sup> mm<sup>3</sup>/Nm, untuk rasio kecepatan 6,5 adalah 1.483 x 10<sup>-5</sup> mm<sup>3</sup>/Nm, untuk rasio

kecepatan 10 adalah  $1.618 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  dan untuk rasio kecepatan 20 adalah  $7.820 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ , serta pada kondisi *uni-directional contact* memiliki laju keausan sebesar  $4.04511 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ .

Pada Gambar.12. dapat dilihat pada *trendline* berwarna biru, saat rasio kecepatan 4.2 terjadi penurunan laju keausan, kemudian laju keausan kembali meningkat mulai dari rasio kecepatan 5 hingga pada puncaknya yaitu saat rasio kecepatan 20, sedangkan pada *trendline* yang berwarna merah yaitu laju keausan pada kondisi *uni-directional contact* memiliki nilai laju keausan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan *trendline* yang berwarna biru yaitu laju keausan saat mengalami *stick-slip friction*. Terlihat jelas pada grafik gambar 12 perbandingan antara pin yang mengalami *stick-slip friction* dengan yang hanya mengalami *uni-directional contact*, dimana laju keausan untuk pin yang mengalami *stick-slip friction* lebih tinggi jika dibandingkan dengan laju keausan untuk pin pada pengujian *uni-directional contact* dan bila dilihat dengan cermat pada grafik gambar 12 terlihat bahwa nilai keausan spesimen yang mengalami *stick-slip* lebih tinggi dan hingga dapat mencapai 200% dari nilai keausan saat benda mengalami *uni-directional contact*. Hal ini sudah sesuai dengan teori, karena saat pengujian *uni-directional contact* pin berada pada kondisi diam dan tidak mengalami *stick-slip friction*, dimana *stick-slip friction* mampu menciptakan laju keausan yang cukup tinggi.

Secara teori laju keausan meningkat sering dengan bertambahnya rasio kecepatan antara pin dan disk, hal ini disebabkan oleh semakin tinggi rasio kecepatan maka semakin sering juga fenomena *stick-slip friction* yang terjadi pada permukaan pin. Hal ini dapat dilihat pada Gambar.3. Pada Gambar.3. terlihat pola lintasan yang dilalui titik pada pin ditiap masing-masing rasionya. Jika diamati terlihat bahwa intensitas terjadinya *stick-slip* semakin meningkat dari rasio kecepatan rendah yaitu 4 hingga rasio kecepatan tinggi 20. Dengan semakin banyak intensitas terjadinya *stick-slip* maka semakin tinggi juga nilai laju keausan suatu benda, dan hal tersebut telah dibuktikan pada grafik gambar 12. Namun pada grafik tersebut terlihat pada saat rasio kecepatan rendah yaitu 4,2 memiliki keausan yang cukup tinggi juga dan justru tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin tinggi rasio kecepatan maka semakin tinggi nilai keausan yang dihasilkan. Tetapi berdasarkan pada dari jurnal Internasional yang berjudul "*Effect of Surface Contact Conditions on the Stick-Slip Behavior of Brake Friction Material*" karangan S.W. Yoon, M.W.Shin, W.G. Lee, dan H. Jang pada tahun 2012 [5], yang menjelaskan bahwa semakin besar kecepatan semakin besar juga intensitas efek *stick-slip* terjadi, akan tetapi pada saat kecepatan rendah nilai dari koefisien *friction* yang dihasilkan justru lebih tinggi dibanding dengan saat kecepatan rendah. Oleh karena itu bisa disimpulkan bahwa pada rasio kecepatan 4,2 memiliki nilai laju keausan yang tinggi karena koefisien *friction* yang ditimbulkan pada kecepatan tersebut juga tinggi.

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Daerah *stick-slip* yang terjadi pada permukaan pin berbeda-beda dari setiap rasio kecepatan antara pin dan disk. Pada saat rasio kecepatan 4,2 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 9 mm dari pusat pin, ketika rasio kecepatan 5 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 8 mm dari pusat pin, saat rasio kecepatan 6.5 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 6 mm dari pusat pin, kemudian saat rasio kecepatan 10 daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 4 mm dari pusat pin, dan saat rasio kecepatan 20 maka daerah yang mengalami *stick-slip* terjadi pada radius 2 mm dari pusat pin.
2. Daerah *stick-slip* yang tercipta pada permukaan pin dari hasil eksperimen apabila dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0* maka ditemukan hasil keduanya sangat mirip dimana daerah-daerah yang diindikasikan terjadi *stick-slip*.
3. Material UHMWPE dengan rasio kecepatan saat *stick-slip* akan mengalami keausan dengan mekanisme abrasif dan adhesif dengan arah keausan melingkar pada permukaan pin. Sedangkan untuk kondisi *uni-directional contact* maka spesimen benda uji akan mengalami keausan dengan mekanisme abrasi dengan arah keausan memotong permukaan pin.
4. Untuk material UHMWPE yang bergesekan banyak arah (*multi-directional contact*) dan juga mengalami kondisi *stick-slip* akan memiliki nilai keausan yang lebih tinggi hingga dapat mencapai 200% dibandingkan dengan spesimen benda uji yang hanya bergesekan satu arah (*uni-directional*).

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis R.Y.K. mengucapkan terima kasih kepada Bapak Yusuf Kaelani selaku dosen pembimbing dan Bapak Moch. Solichin sebagai dosen *reviewer* serta seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusumaningrum, Dewi Fahsoli, "Studi Eksperimental dan Analisa Keausan Permukaan yang Dipengaruhi Oleh *Stick-Slip Friction* Akibat *Multi-Directional Contact Friction*". Surabaya (2013)
- [2] B. Bhushan, "Principles and Applications of Tribology". New York: John Wiley & Sons, INC (2013). Ch.6.
- [3] M.Khonsari, "Applied Tribology : Bearing Design and Lubrication". New York: John Wiley & Sons, INC (2001).
- [4] J.F.Archard, "Wear Control Handbook". New York: ASME Centennial Research Project (1995).
- [5] Yoon, S.W., M.W. Shin, W.G. Lee, H. Jang, "Effect of Surface Contact Conditions on the Stick-Slip Behavior of Brake Friction Material". Amsterdam : Elsevier Scientific (2012)