

Studi Eksperimental Keausan Permukaan Material Akibat Adanya *Multi-Directional Contact Friction*

Muhammad Hasry dan Yusuf Kaelani

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

Jalan Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: y_kaelani@me.its.ac.id

Abstrak—Penelitian terkait keausan akibat gesekan satu arah dan gesekan dua arah sampai saat ini telah banyak dilakukan, tetapi hanya sedikit yang mengkaji keausan akibat gesekan banyak arah (*multi-directional friction*), padahal tidak sedikit suatu mekanisme mengakibatkan terjadinya *multi-directional contact friction*, seperti pada kontak ban mobil terhadap jalan saat melakukan *drifting* ataupun pada sistem yang menggunakan *ball joint*. Data penelitian berupa data keausan merupakan hasil pengujian menggunakan tribometer tipe *Pin-on-disk* dengan material *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* sebagai pin uji dan material *Stainless steel* sebagai disk. Pada pengujian, masing-masing pin dan disk bergerak rotasi dan saling kontak permukaan sehingga pada permukaan material terjadi gesekan ke arah yang berubah-ubah sepanjang waktu. Secara garis besar penelitian dilakukan dalam 2 macam, yaitu penelitian keausan akibat gesekan tanpa pelumasan (*dry sliding*) dan dengan pelumasan (*wet sliding*). Sebagai data pembanding, diambil juga data keausan akibat dari gesekan satu arah, yaitu dengan menggerakkan disk secara rotasi sedangkan pin hanya mengalami pembebanan dan tidak bergerak sama sekali. Permukaan spesimen yang telah diuji selanjutnya diamati struktur permukaannya menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 100 kali. Hasil dari penelitian menyebutkan bahwa gesekan banyak arah (*Multi-Directional Friction*) akan menghasilkan keausan yang lebih besar dibanding gesekan satu arah (*Uni-Directional Friction*). Material yang mengalami gesekan banyak arah dengan pembebanan statis sebesar 39.2 N dan dengan kecepatan sesaat yang berubah-ubah mulai dari nol sampai 19.546 m/menit, akan mengalami keausan dengan mekanisme abrasi. Berdasarkan penelitian diketahui juga bahwa adanya pelumas memberi pengaruh yang besar dalam mengurangi keausan.

Kata kunci—Multi-directional, Friction, Rasio Kecepatan, Wear Rate.

I. PENDAHULUAN

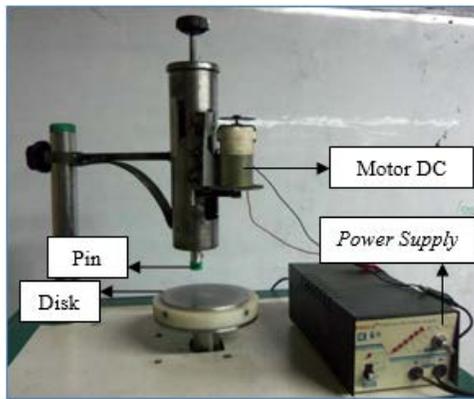
Dua buah atau lebih benda yang mengalami kontak dan bergerak relatif satu sama lain akan menimbulkan gaya gesek. Bentuk dan arah gesekan yang ditimbulkan tergantung bagaimana profil, dimensi dan arah gerak dari masing-masing benda [1]. Jika ditinjau dari arah geseknya, gesekan dapat berupa gesekan satu arah (*one-directional friction*), dua arah (*bi-directional friction*) ataupun banyak arah (*multi-*

directional friction).

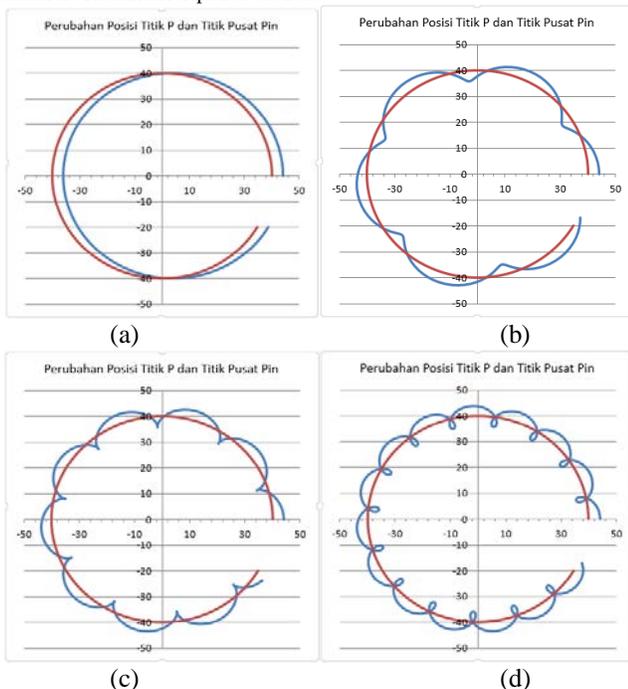
Adanya gesekan akan menyebabkan terjadinya kerusakan berupa hilangnya material dari permukaan benda, yang dinamakan keausan. Keausan yang lebih besar akan terjadi pada benda yang kekerasannya lebih rendah. Berbagai faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan gerak, besarnya beban, profil permukaan serta kekerasan (*hardness*) dari material itu sendiri. Gesekan antar permukaan juga akan menimbulkan panas yang juga mempengaruhi keausan, karena dalam kajian material disebutkan bahwa kekerasan material akan berkurang seiring meningkatnya temperatur. Dampak dari gesekan antara dua material bisa dikurangi dengan memberikan pelumasan pada permukaan benda yang mengalami kontak [2].

Sampai saat ini, telah banyak dilakukan penelitian terkait keausan akibat *one-directional friction* dan *bi-directional friction*, tetapi sangat jarang yang mengkaji keausan akibat *multi-directional friction*, padahal tidak jarang suatu mekanisme mengakibatkan terjadinya *multi-directional friction*. Gesekan banyak arah dapat ditemukan misalnya pada ban mobil saat melakukan *drifting*, pada *ball joint* seperti pada spion kendaraan, juga dapat ditemukan pada berbagai persendian tubuh, seperti sendi rahang dan sendi lengan. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian terkait gesekan banyak arah dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh *multi-directional contact friction* terhadap keausan benda dan bagaimana mekanisme keausan benda yang mengalami *multi-directional contact friction*.

Pengambilan data volume keausan pada penelitian ini sejatinya dilakukan dengan berbagai batasan permasalahan; yaitu *multi-directional motion* merupakan hasil kombinasi dari dua buah *rotational motion*, material yang diuji adalah *Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)* terhadap *Stainless steel*, pembebanan statis sebesar 39.2N dan dianggap *uniform* pada pin, tidak ada partikel pengotor diantara permukaan pin dan disk yang mengalami kontak selama dilakukan pengujian, pelumas yang digunakan adalah pelumas dengan *kinematic viscosity* antara 13.5 sampai 16.5 mm²/s (cSt) pada temperatur 40°C, disk dan pin berputar dengan kecepatan konstan dan kecepatan putar pin adalah sebesar 402.4 rpm, sehingga untuk memperoleh gesekan dengan rasio kecepatan yang berbeda dilakukan dengan merubah kecepatan putar disk.



Gambar 1. Tribometer Tipe Pin on Disc



Gambar 2. Perubahan Posisi Titik P (Garis Biru) dan Titik Pusat Pin (Garis Merah) Pada Disk (Skala Dalam mm) Untuk Variabel Pengujian (a) ω pin = 0 (b) ω pin = 6.7x ω disk (c) ω pin = 10.7x ω disk (d) ω pin = 16.5x ω disk

II. URAIAN PENELITIAN

Penelitian diawali dengan persiapan peralatan uji berupa tribometer tipe *pin on disc*. Adapun peralatan yang digunakan ditampilkan pada Gambar 1.

Proses kerja dari tribometer yang ditunjukkan pada Gambar 1 adalah ketika motor DC menghasilkan putaran maka putaran dari motor akan diteruskan oleh *belt* menuju poros yang berada di dalam *casing* tribometer. Poros yang berputar pada akhirnya akan memutar pin sehingga tercipta gesekan banyak arah (*multi-directional friction*) ketika pin yang berputar tersebut bergesekan dengan disk yang juga berputar.

Menggunakan analisa kinematika terhadap sebuah titik tinjau P pada permukaan pin (titik tinjau P berada pada jarak 4 mm dari pusat pin), maka diperoleh bentuk lintasan gesek seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 dapat dilihat perbedaan pola lintasan titik tinjau P untuk beberapa rasio kecepatan antara pin dengan



Gambar 3. Spesimen Uji (a) Pin, dan (b) Disk

disk. Ketiga rasio kecepatan yang terdiri dari 6.7, 10.7 dan 16.5 merupakan variabel pengujian yang digunakan pada penelitian ini. Untuk menghasilkan rasio kecepatan sebesar 6.7, maka digunakan kecepatan disk sebesar 59.2 rpm, untuk menghasilkan rasio kecepatan sebesar 10.7 digunakan kecepatan disk sebesar 37.5 rpm dan untuk menghasilkan rasio kecepatan sebesar 16.5 digunakan kecepatan disk sebesar 24.4 rpm, sedangkan kecepatan pin adalah sebesar 402.4 rpm dan tidak dapat divariasikan. Adapun berbagai variabel uji yang lain adalah pembebanan statis sebesar 39.2 N dan *sliding distance* sejauh 600 m.

Persiapan penelitian selanjutnya terdiri dari persiapan spesimen yang terdiri dari pin dan disk. Gambar dari spesimen yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.

Setelah persiapan spesimen selesai, selanjutnya pin uji ditimbang menggunakan timbangan digital. Setelah pengujian selesai, pin kembali ditimbang sehingga diperoleh besar perubahan massa pin yang selanjutnya data tersebut digunakan untuk menghitung besar volume aus material menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho} \tag{1}$$

Keterangan : ΔV = Perubahan volume pin
 Δm = Perubahan massa pin
 ρ = Massa jenis pin

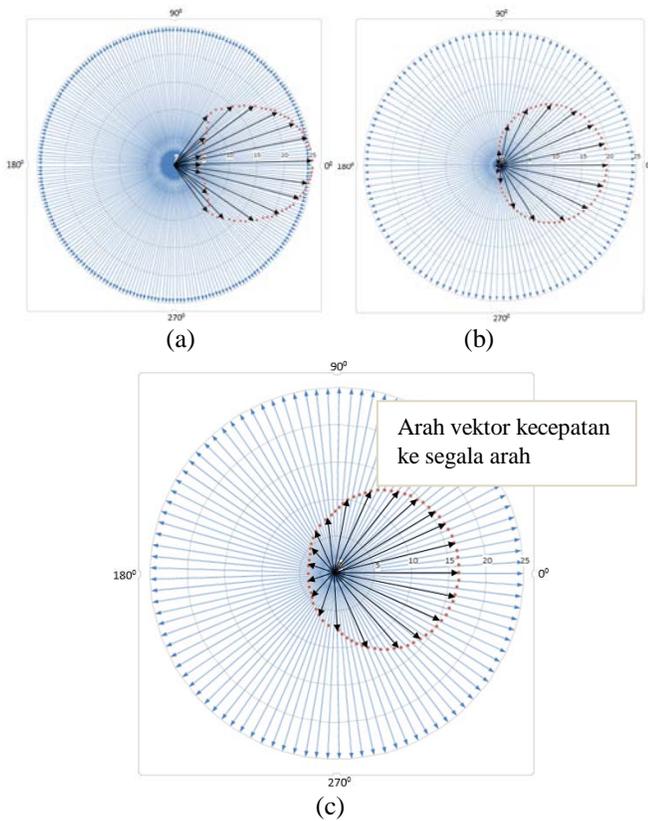
Perubahan volume yang merupakan volume aus pin selanjutnya digunakan dalam menghitung besar laju keausan (*specific wear rate*) dengan menggunakan persamaan Archard [3].

$$K = \frac{\Delta V}{FL} \tag{2}$$

Keterangan : K = *Specific wear rate*
 ΔV = Perubahan volume pin
 F = Pembebanan statis
 L = *Sliding distance*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas dan dianalisa hasil penelitian tentang laju keausan antara *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) dengan *Stainless Steel AISI 304*. Pembahasan dimulai dengan melakukan analisa kecepatan dari pin yang melakukan kontak permukaan dengan disk, dilanjutkan dengan analisa keausan akibat dari adanya *Multi-Directional Friction*.



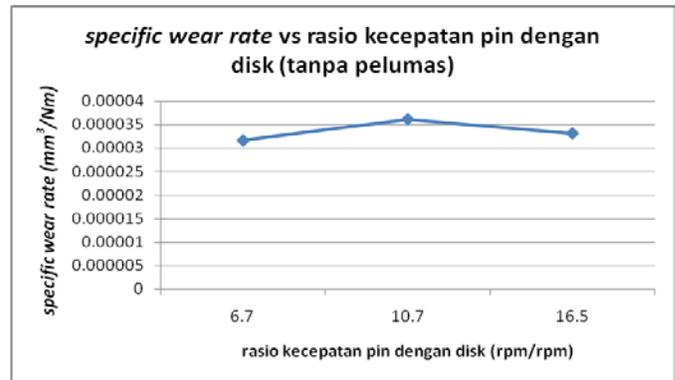
Gambar 4. Vektor Kecepatan Titik Tinjau P Dari Waktu Ke Waktu Pada Pengujian Dengan Rasio Kecepatan (a) 6.7 (b) 10.7 dan (c) 16.5

A. Kinematika Kecepatan Pada Multi-Directional Contact Friction

Jika ditinjau sebuah titik P pada permukaan pin dengan posisi 4 mm dari pusat pin, maka terjadinya perubahan posisi titik tinjau P dari waktu ke waktu secara otomatis akan menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan dari waktu ke waktu. Pada penelitian ini terdapat dua variabel yang menjadi penentu besar dan arah kecepatan titik P, yaitu kecepatan putar disk dan kecepatan putar pin. Resultan dari kedua kecepatan itulah yang kemudian menjadi arah kecepatan titik tinjau P. Secara lengkap, perubahan besar dan arah resultan kecepatan titik P dari waktu ke waktu untuk setiap rasio kecepatan pin terhadap disk ditampilkan dalam Gambar 4.

Gambar 4 di atas merupakan gambar yang menampilkan vektor resultan kecepatan sebuah titik tinjau P di permukaan pin dari waktu ke waktu selama dilakukan pengujian, dengan sumbu axis sebagai besar kecepatan dalam satuan m/menit dan lingkaran 360° sebagai sudut arah kecepatan. Pada Gambar 4 di atas, titik tinjau di permukaan pin ditampilkan sebagai titik pusat lingkaran, sedangkan panjang dan arah panah yang berawal dari pusat lingkaran merupakan besar dan arah resultan kecepatan dari titik P tersebut. Sebagai contoh, jika pada gambar ditampilkan panah dengan panjang 16 skala sumbu axis dan mempunyai sudut 0°, maka pada kenyataannya dalam sesaat kecepatan titik P adalah sebesar 16 m/menit mengarah ke kanan.

Pada Gambar 4.a dapat dilihat bahwa perubahan arah resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 6.7 dari waktu ke



Gambar 5. Grafik Perubahan Laju Keausan Terhadap Perubahan Rasio Kecepatan Antara Pin Dan Disk Dengan Kondisi Pengujian Tanpa Pelumas

waktu hanya berada pada range 43° ke arah positif (kuadran 1 lingkaran) dan 43° ke arah negatif (kuadran 4 lingkaran).

Adapun besar rata-rata resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 6.7 ini adalah sebesar 16.6789 m/menit. Pada Gambar 4.b dapat dilihat bahwa vektor resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 10.7 sebagian besar berada pada kuadran 1 dan 4 lingkaran, dengan beberapa kali berada pada kuadran 2 dan 3 lingkaran. Adapun besar rata-rata resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 10.7 adalah sebesar 12.4946 m/menit. Berbeda dengan kedua rasio kecepatan lainnya, vektor resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 16.5 mempunyai arah dengan range sudut yang lebih luas dan lebih bervariasi pada keempat kuadran lingkaran, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.c. Sedangkan besar rata-rata resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 16.5 adalah 11.0815 m/menit.

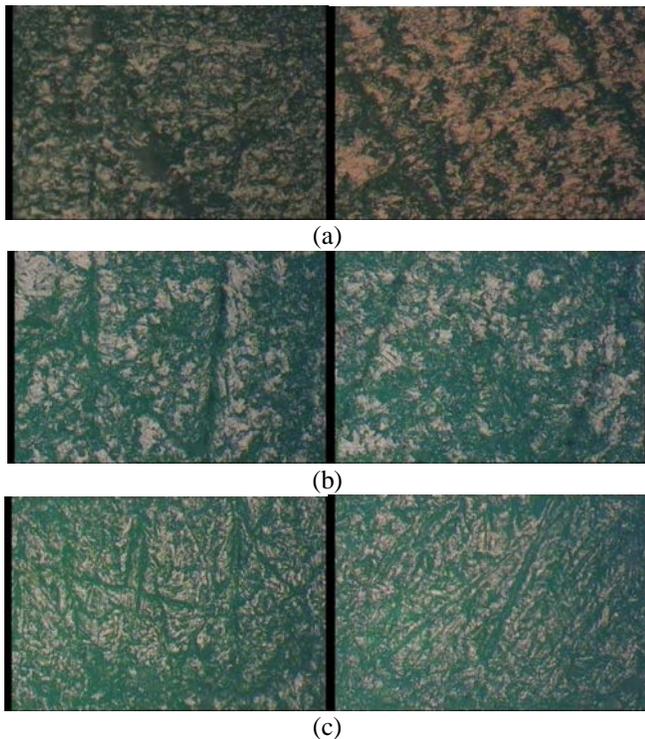
B. Keausan Akibat Gesekan Banyak Arah Tanpa Pelumas

Hasil pengolahan data pengujian *Multi-Directional Friction* material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) dengan *Stainless Steel* AISI 304 dalam kondisi tanpa pelumas dengan berbagai variasi rasio kecepatan putar antara pin dan disk ditunjukkan pada Gambar 5.

Grafik pada Gambar 5 di atas merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara besarnya laju keausan dengan perubahan rasio kecepatan antara pin dan disk pada pengujian gesekan tanpa pelumas material UHMWPE terhadap material *stainless steel*. Pada grafik tersebut ditampilkan besarnya laju keausan dengan satuan mm³/Nm sebagai sumbu vertikal dan perubahan rasio kecepatan dengan satuan rpm/rpm sebagai sumbu horizontal. Pada grafik tersebut, dibandingkan harga laju keausan dari 3 buah rasio kecepatan yang berbeda.

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa besar laju keausan untuk rasio kecepatan 6.7 adalah 3.16616E-05, untuk rasio kecepatan 10.7 adalah 3.61847E-05 dan untuk rasio kecepatan 16.5 adalah 3.31693E-05. Peningkatan laju keausan terjadi dengan meningkatnya rasio kecepatan dari 6.7 sampai 10.7. Namun, terjadi penurunan laju keausan dengan meningkatnya rasio kecepatan dari 10.7 menuju 16.5

Jika arah kecepatan dihubungkan dengan harga laju keausan maka dapat disebutkan bahwa semakin banyak perubahan arah kecepatan akan menyebabkan besar laju keausan yang semakin besar, seperti ditunjukkan pada perubahan harga laju keausan



Gambar 6. Foto Mikro Permukaan Spesimen Dengan Perbesaran 100x Setelah Dilakukan Pengujian Untuk Rasio Kecepatan (a) 6.7 (b) 10.7 dan (c) 16.5

yang semakin meningkat dari rasio kecepatan 6.7 sampai 10.7. Namun, perubahan arah kecepatan yang semakin banyak pada rasio kecepatan dari 10.7 sampai 16.5 malah menyebabkan harga laju keausan semakin berkurang, hal tersebut mungkin disebabkan karena besar rata-rata resultan kecepatan yang semakin kecil jika dibandingkan dengan besar rata-rata resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 10.7.

Perbedaan besar dan arah kecepatan gesek pin terhadap diskselain menyebabkan perbedaan laju keausan juga menyebabkan perbedaan bentuk dan dimensi keausan yang terbentuk pada permukaan pin. Adapun perbedaan-perbedaan tersebut dapat dilihat pada foto mikro permukaan spesimen pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 di atas dapat dilihat berbagai pola keausan yang terbentuk pada permukaan pin untuk tiap-tiap rasio kecepatan, setelah dilakukan pengujian. Untuk ketiga rasio kecepatan mempunyai berbagai persamaan dan beberapa perbedaan pada pola keausan yang terbentuk. Adapun kesamaan dari pola keausan untuk ketiga rasio kecepatan yang digunakan pada pengujian adalah bahwa pola keausan yang terbentuk hanya berupa abrasi. Tidak ada ditemukan pola keausan yang mengindikasikan bahwa keausan terjadi dengan mekanisme korosif, adhesif ataupun *fatigue*. Adapun bentuk dan arah dari abrasi yang terbentuk terlihat berbeda untuk tiap-tiap rasio kecepatan. Pada Gambar 6.a yang merupakan permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 6.7, dapat ditemukan satu dua buah goresan, dengan arah yang relatif sama, dengan posisi satu sama lain yang saling berjauhan, namun dengan ukuran yang lebar dan panjang. Ketika pengamatan dialihkan pada Gambar 6.b yang merupakan permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 10.7, dapat

dilihat goresan-goresan yang lebih banyak, namun dengan dimensi yang lebih pendek dan lebih sempit. Pada gambar tersebut juga dapat ditemukan goresan dengan arah yang berbeda dengan goresan lainnya. Pada Gambar 6.c yang merupakan permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 16.5, dapat ditemukan banyak sekali goresan-goresan dengan posisi yang rapat dan dengan arah yang berbeda-beda satu sama lain. Dapat juga dilihat bahwa goresan-goresan yang terdapat pada permukaan spesimen tersebut memiliki dimensi yang relatif pendek dan tidak begitu lebar.

Apabila dibandingkan foto mikro permukaan spesimen dari ketiga variasi rasio kecepatan 6.7, 10.7 dan 16.5, maka dapat disebutkan bahwa keausan yang terbentuk akibat dari gesekan banyak arah merupakan keausan dengan metode abrasif. Dapat juga disebutkan bahwa semakin banyak perubahan arah gesekan telah menyebabkan goresan-goresan yang semakin banyak dan dengan arah gesekan yang semakin bervariasi, namun dengan dimensi goresan yang semakin berkurang. Jika diperhatikan secara seksama, dapat dilihat bahwa pada foto mikro permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 10.7, keausan yang terbentuk cenderung lebih dalam jika dibandingkan dengan keausan pada permukaan spesimen uji dengan rasio kecepatan 6.7 juga 16.5. Hal tersebut disebabkan karena pada pengujian dengan rasio kecepatan 10.7 seringkali kecepatan kontak bernilai nol, dimana pada kondisi seperti ini akan terjadi fenomena yang dikenal dengan *stick slip*, sebuah fenomena yang menyebabkan keausan bertambah besar karena secara sesaat koefisien gesek yang berperan adalah koefisien gesek statis yang nilainya lebih besar dari koefisien gesek kinetik, sehingga keausan yang dihasilkan pun lebih dalam.

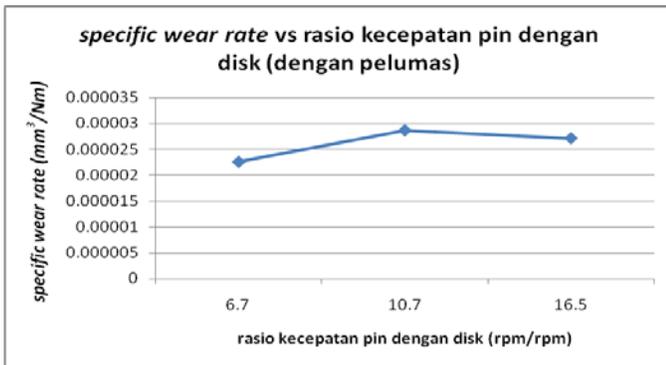
C. Keausan Akibat Gesekan Banyak Arah Berpelumas

Pada pengujian gesekan banyak arah berpelumas ini, ditambahkan cairan pelumas diantara pin dan disk saat dilakukan pengujian. Penambahan pelumas dalam hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi kontak langsung antara kedua permukaan pin dengan permukaan disk sehingga dapat menghindari terjadinya keausan yang maksimum akibat dari efek gesekan.

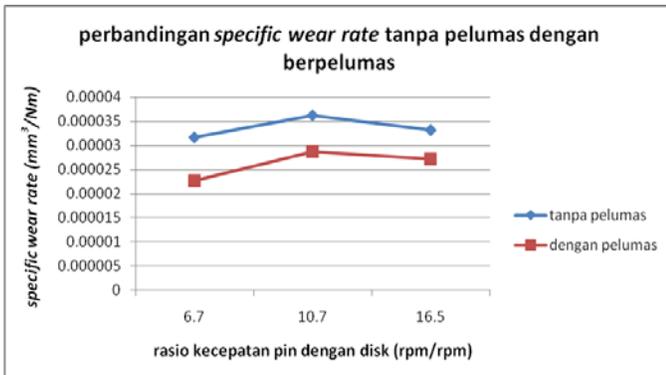
Hasil pengolahan data pengujian *Multi-Directional Friction* material *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE) dengan *Stainless Steel* AISI 304 dalam kondisi berpelumas dengan berbagai variasi rasio kecepatan putar antara pin dan disk ditunjukkan pada Gambar 7.

Grafik pada Gambar 7 di atas merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara besarnya laju keausan dengan perubahan rasio kecepatan antara pin dan disk pada pengujian gesekan berpelumas material UHMWPE terhadap material *stainless steel*. Pada grafik tersebut ditampilkan besarnya laju keausan dengan satuan mm^3/Nm sebagai sumbu vertikal dan perubahan rasio kecepatan dengan satuan rpm/rpm sebagai sumbu horizontal. Pada grafik ditampilkan perubahan harga laju keausan hanya untuk 3 buah rasio kecepatan yang berbeda.

Pada grafik dalam Gambar 7 dapat dilihat besar laju keausan untuk rasio kecepatan 6.7 adalah sebesar $2.26154\text{E}-05$. Nilai tersebut kemudian mengalami peningkatan sampai $2.86462\text{E}-$



Gambar 7. Grafik Perubahan Laju Keausan Terhadap Perubahan Rasio Kecepatan Antara Pin Dan Disk Dengan Kondisi Pengujian Berpelumas



Gambar 8. Grafik Perbandingan Laju Keausan (*Specific Wear Rate*) Dengan Kondisi Tanpa Pelumas Dengan Berpelumas

05 ketika rasio kecepatan telah berubah menjadi 10.7. Namun, harga laju keausan selanjutnya mengalami penurunan yang tidak begitu signifikan menjadi 2.71385E-05 ketika rasio kecepatan menjadi 16.5

Peningkatan laju keausan untuk pengujian dengan rasio kecepatan 6.7 sampai rasio kecepatan 10.7 menunjukkan bahwa semakin banyak perubahan arah kecepatan akan menyebabkan laju keausan yang semakin meningkat. Selanjutnya penurunan laju keausan dari rasio kecepatan 10.7 sampai 16.5 mungkin terjadi karena perubahan arah kecepatan untuk rasio kecepatan 10.7 memiliki perbedaan yang tidak begitu signifikan dengan perubahan arah kecepatan untuk rasio kecepatan 16.5. Terjadinya penurunan rata-rata resultan kecepatan seperti ditunjukkan pada Gambar 4 mungkin menjadi penyebab terjadinya penurunan laju keausan, dimana rata-rata resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 10.7 adalah 12.4946 m/menit, sedangkan rata-rata resultan kecepatan untuk rasio kecepatan 16.5 adalah 11.0815 m/menit.

D. Perbandingan Keausan Akibat Gesekan Banyak Arah Tanpa Pelumas Dengan Berpelumas

Perbandingan harga keausan dari material UHMWPE untuk pengujian *Multi-directional Friction* tanpa pelumas dengan berpelumas dapat dilihat pada Gambar 8.

Grafik pada Gambar 8 di atas merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan antara laju keausan akibat gesekan banyak arah tanpa pelumas dengan laju keausan akibat gesekan banyak arah berpelumas dengan garis berwarna biru mewakili

hasil pengujian tanpa pelumas dan garis berwarna merah mewakili hasil pengujian berpelumas. Pada grafik di atas dibandingkan bagaimana perubahan laju keausan terhadap perubahan rasio kecepatan untuk kedua pengujian tersebut, sebagai sumbu vertikal merupakan laju keausan dalam satuan mm³/Nm dan sebagai sumbu horizontal merupakan rasio kecepatan antara pin dan disk dalam satuan rpm/rpm.

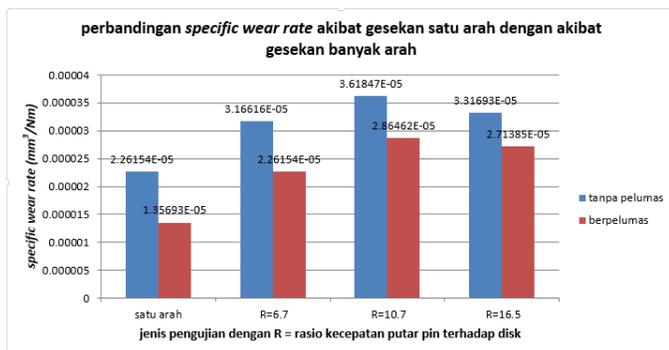
Pada grafik di atas, dapat dilihat bahwa secara keseluruhan garis berwarna biru mempunyai tren yang sama dengan garis berwarna merah. Kedua garis mempunyai tren yang sama-sama meningkat dengan meningkatnya rasio kecepatan dari 6.7 menuju 10.7 dan selanjutnya kedua garis tersebut mempunyai tren yang sama-sama menurun seiring meningkatnya rasio kecepatan dari 10.7 menuju 16.5. Pada grafik di atas juga dapat dilihat bahwa keausan yang dihasilkan oleh gesekan tanpa pelumas memiliki nilai yang lebih besar dibanding keausan yang dihasilkan oleh gesekan berpelumas, baik untuk rasio kecepatan berapapun. Adapun besar laju keausan antara tanpa pelumas dengan berpelumas memiliki selisih sebesar 9.04617E-06 untuk rasio kecepatan 6.7, sebesar 7.53848E-06 untuk rasio kecepatan 10.7 dan sebesar 6.03078E-06 untuk rasio kecepatan 16.5

Berdasarkan data pada grafik di atas dapat disebutkan bahwa adanya pelumas telah meminimalisir terjadinya keausan. Pada rasio kecepatan 6.7, persentase penurunan angka keausan mencapai angka 28%, sedangkan pada rasio kecepatan 10.7 persentase penurunan angka keausan adalah sebesar 21% dan pada rasio kecepatan 16.5 persentase penurunan angka keausan hanya berkisar 18%. Terjadinya penurunan angka keausan pada semua titik rasio kecepatan menunjukkan bahwa penggunaan pelumas merupakan salah satu langkah yang tepat dalam mengurangi keausan.

E. Perbandingan Keausan Akibat Gesekan Banyak Arah Dengan Akibat Gesekan Satu Arah

Pada bagian ini akan dilihat bagaimana pengaruh berubah-ubahnya arah gesekan terhadap besarnya laju keausan. Adapun pengaruh tersebut akan dilihat dengan membandingkan laju keausan yang dihasilkan oleh gesekan banyak arah (*Multi-directional Friction*) terhadap keausan yang dihasilkan oleh gesekan satu arah (*One-directional Friction*) pada pengujian gesekan material UHMWPE terhadap *Stainless Steel*. Adapun perbandingan laju keausan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.

Bagan pada Gambar 9 di atas merupakan bagan yang menampilkan perbandingan laju keausan dari gesekan banyak arah terhadap laju keausan dari gesekan satu arah dengan kolom biru mewakili pengujian gesekan tanpa pelumas dan kolom merah mewakili pengujian gesekan berpelumas. Pada bagan tersebut, digunakan laju keausan dengan satuan mm³/Nm sebagai sumbu vertikal dan jenis pengujian yang terdiri dari pengujian satu arah dan pengujian banyak arah dengan tiga variasi rasio kecepatan sebagai sumbu horizontal.



Gambar 9. Bagan Perbandingan Laju Keausan Akibat Gesekan Satu Arah Dengan Akibat Gesekan Banyak Arah

Pada bagan di atas dapat dilihat bahwa gesekan banyak arah menghasilkan laju keausan yang lebih besar jika dibandingkan gesekan satu arah, baik itu pada pengujian dengan rasio kecepatan 6.7, 10.7 ataupun 16.5. Berdasarkan data pada bagan di atas dapat diketahui bahwa pada pengujian tanpa pelumas laju keausan yang dihasilkan oleh gesekan satu arah adalah sebesar $2.26154E-05$, lebih kecil dibandingkan laju keausan yang dihasilkan oleh gesekan banyak arah yang berada pada *range* antara $3.16616E-5$ sampai $3.61847E-05$. Pada pengujian berpelumas juga ditemukan fenomena yang sama, yaitu gesekan satu arah yang mempunyai laju keausan sebesar $1.35693E-05$, juga lebih kecil dibanding laju keausan akibat gesekan banyak arah yang berada pada *range* antara $2.26154E-5$ sampai $2.86462E-05$.

Terjadinya peningkatan laju keausan baik pada pengujian tanpa pelumas maupun pada pengujian berpelumas terjadi karena adanya peningkatan rata-rata kecepatan juga karena berubah-ubahnya arah gesekan. Pada gesekan satu arah, rata-rata kecepatan adalah sebesar 9.429 m/menit, sedangkan pada gesekan banyak arah rata-rata kecepatan mencapai 11.0815 m/menit untuk rasio kecepatan 16.5, sebesar 12.495 m/menit untuk rasio kecepatan 10.7 dan 16.6789 m/menit untuk rasio kecepatan 6.7. Pada proses gesekan satu arah, *asperities* dari permukaan material hanya akan melakukan proses abrasi pada jalur yang berupa garis lurus saja, sedangkan pada proses gesekan yang arahnya berubah-ubah telah memungkinkan semakin luasnya ruang lingkup proses abrasi yang dilakukan oleh *asperities* sehingga semakin banyak material pada permukaan spesimen yang dapat dipotong oleh *asperities* tersebut. Sebagaimana diketahui bahwa semakin banyak material yang terpotong saat mengalami kontak permukaan mengindikasikan semakin besarnya volume aus yang berarti semakin cepat keausan terjadi.

4. KESIMPULAN

Berbagai kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Gesekan banyak arah (*Multi-Directional Friction*) menghasilkan keausan yang lebih besar dibanding gesekan satu arah (*Uni-Directional Friction*)
2. Pada gesekan banyak arah (*Multi-Directional Friction*) hasil kombinasi dua buah gerak rotasi, baik itu gesekan tanpa

pelumas maupun gesekan berpelumas, besar laju keausan material akan semakin meningkat seiring dengan berubahnya rasio kecepatan dari 6.7 menjadi 10.7. Namun, laju keausan akan mengalami penurunan ketika rasio kecepatan berubah dari 10.7 menjadi 16.5

3. Gesekan banyak arah (*Multi-Directional Friction*) tanpa pelumas (*Dry Friction*) akan menghasilkan keausan yang lebih besar jika dibandingkan dengan gesekan banyak arah yang disertai pelumas (*Lubricated Friction*).
4. Material dengan pembebanan statis sebesar 39.2 N akan mengalami keausan dengan mekanisme abrasif ketika mengalami gesekan banyak arah (*Multi-Directional Contact Friction*), baik itu gesekan dalam kondisi tanpa pelumas maupun dalam kondisi berpelumas.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wikipedia. (30 April 2013). Gaya Gesek. Dari http://id.wikipedia.org/wiki/Gaya_gesek [07 Mei 2013].
- [2] Solichin, Moch. 2012. Studi Eksperimental Laju Keausan (*Specific Wear Rate*) Antara *Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)* Dengan *Stainless Steel* Sebagai Sendi Lutut Buatan (*Total Knee Replacement Prosthesis*) Manusia. Surabaya.
- [3] Ludema, C. Kenneth. 1996. Friction, Wear, Lubrication : A Textbook in Tribology. USA : CRC Press.