**BAB II**

**DASAR TEORI**

1. **Tribologi**

Tribologi berasal dari kata *tribos* (bahasa Yunani yang berarti *rubbing*, dan *logy* atau *logia* artinya studi. Tribologi adalah studi tentang interaksi atau *rubbing* dari permukaan yang saling bergerak relatif.

Walaupun penggunaan pelumas sudah dimulai sejak zaman kuno, misalnya pada peralatan seperti roda pembuatan keramik, engsel pintu, roda kereta, seluncur untuk menyeret batu besar atau patung di Mesir. Namun pembahasan secara ilmiah terhadap teknologi pelumas dan pelumasan ini relatif baru. Perumusan pertama hukum tribologi baru mengemuka pada abad ke-15, pada saat itu insyinyur yang bernama Leonardo da Vinci (1452-1519), menemukan bahwa gaya friksi sebanding dengan gaya normal. Terminologi tribologi diperkenalkan baru sekitar tahun 1966 sebagai ilmu sains tentang friksi (*friction*), keausan (*wear*), pelumasan (*lubrication*) dan sudah digunakan secara global untuk menggambarkan aktifitas yang jangkauannya luas.

Dengan demikian tribologi adalah ilmu indisipliner dalam semua aspek dan memberikan dasar sains untttuk memahami fenomena gesekan dan pelumasan dalam sistim tribologi. Efisiensi pelumasan dan aplikasi pelumas selanjutnya tergantung pada parameter kunci seperti konsistensi, properti aliran atau viskositas untuk cairan yang selalu muncul pada spesifikasi pelumas.



**Gambar 2.1 *Sphere***

1. **Friksi (Friction)**

Friksi adalah gaya yang menahan gerakan *slidding* atau *rolling* satu benda terhadap benda lainnya. Friksi merupakan faktor yang penting dalam mekanisme operasi sebagian besar peralatan atau mesin.

Friksi besar (*high friction*) dibutuhkan untuk bekerjanya mur dan baut, klip kertas, penjepit (tang catut), sol sepatu, alat pemegang dan lainnya. Gaya friksi dibutuhkan pada saat kita jalan agar tidak terpeleset. Friksi juga dibutuhkan agar dapat menumpuk pasir, apel dll. Namun friksi juga merupakan tahanan tehadap gerakan yang bersifat merugikan.20% tenaga mesin mobil dipergunakan untuk mengatasi gaya friksi pada elemen mesin yang bergerak.

Oleh karena itu friksi kecil (*low friction*), dikehendaki untuk benda yang bergerak seperti mesin tenaga (*engine*), ski, elemen arloji/jam dll.

Disamping itu juga dibutuhkan friksi konstan (*constant friction*) yaitu untuk rem, dan kopling agar geakkan tidak tersendat sendat.

Friksi telah dipelajari sebagai cabang mekanika beberapa ratus tahun yang lalu, dan hukum dan metode untuk memperkirakan besarnya friksi telah diketahui 2 abad lalu. Manun mekanisme friksi, yaitu proses hilangnya energi jika dua permukaan saling bergesek tidak dapat diterangkan dengan baik.

Penyebab utama friksi antara dua logam kelihatannya adalah gaya tarik (adesi) daerah kontak (*contact region*) dari permukaan yang secara mokroskopik tidak beraturan. Jika diperbesar permukaan menyerupai bukit dan lembah.

Jika ada beban, ketika 2 permukaan bersinggungan, dua bukit menempel (adesi atau menyatu) atau terkunci dilembah permukaan dihadapannya. Friksitimbul akibat adanya geseran (shearing) bukit yang menyatu tersebut dan jua akibat ketidak teraturan permukaan.tersebut, bagian yang keras tertanam kepada bagian lunak.

Friksi dari slidding dua benda padat yang diperoleh dari ekperimen sederhana menghasilkan kesimpulan sbb :

1. Besarnya friksi hampir tidak bergantung pada luas kontak. *Jika sebuah bata ditarik diatas meja, gaya friksi tetap sama, baik posisi bata berdidri ataupun tidur.* (Leonardo da Vinci (1452-1519)
2. Friksi berbanding lurus dengan beban yang bekerja pada permukaan. *Jika bata ditumpuk empat ditarik diatas meja, besarnya friksi empatkalinya friksi satu batayang ditarik..*

Jadi rasio gaya friksi **F** terhadap beban **L** adalah tetap.

Rasio yang tetap tersebut disebut **koefisen friksi** (*coefficient of friction* ) dan biasanya diberi simbol huruf Yunani mu (μ ). Secara matematik persamaan dapat ditulis sbb :

Koefisien friksi tidak punya satuan, karena friksi dan beban yang diukur dalam satuan gaya (pound atau Newton) saling meniadakan.

Sebagai contoh :Harga koefisien friksi μ=0,5 untuk kasus bata ditarik diatas kayu yang berarti bahwa dibutuhkan gaya sebesar setengah dari berat bata untuk mengatasi friksi, dan menjaga bata bergerak secara konstan. Gaya friksi arahkan berlawanan dengan arah gerak bata. Karena friksi timbul antara permukaan yang bergerak maka ini disebut friksi kinetik (***kinetic friction)***.

Ini untuk membedakan dengan friksi statik (***static friction)***, yang bekerja pada permukaan yang diam. Harga friksi statik selalu lebih besar dari friksi kinetik.

Friksi rolling **(*rolling friction***) terjadi jika suatu roda, slinder ataupun bola menggelinding bebas diatas permukaan, sepertihalnya pada ball tau roller bearing. Sumber friksi utama dalam gerakan rolling adalah disipasi energi yang meilbatkan deformasi benda. Jika bola keras menggelinding diatas permukaan, bola sedikit peyang dan permukaan sedikit legok pada daerah kontak. Deformasi elastik atau kompresi pada daerah kontak tersebut merupakan penghambat gerakan dan energinya tidak kembali saat benda kembali ke bentuk semula. Enegi yang hilang pada kedua bagian permukaan sama dengan energi yang hilang pada bola yang jatuh dan terpantul. Besarny friksi slidding pada umumnya 100 sampai 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan friksi rolling.Keuntungan gerakan rolling dipahami oleh manusia pendahulu sehingga ditemukan roda.

1. **Mekanika Kontak**

Mekanika kontak sering dihubungkan dengan nama Heinrich Hertz (1882). Pada tahun 1882 Hertz telah memecahkan masalah yang melibatkan kontak antara dua benda elastis dengan permukaan lengkung. Hertz memperkenalkan *interference ω* sebagai variabel yang penting untuk mengetahui deformasi elastis. Ketika dua permukaan benda yang kasar jika diamati dalam skala mikro, ditekan dan diberi beban bersama-sama maka akan terjadi deformasi pada kedua permukaannya (Hertz, 1882). Awalnya kontak akan terjadi pada jumlah *asperity* yang sedikit, kemudian jumlah *asperity* yang mengalami kontak akan menjadi lebih banyak dengan memberikan bebann normal yang lebih besar. Kontak aktual terjadi pada *asperity* dari permukaan benda yang saling kontak dan luas permukaan kontak nyata yang terjadi merupakan jumlah luas permukaan kontak dari *asperity* dan sifat materialnya, *asperity* akan mengalami deformasi *plastic*, *elastic-plastic* atau  *fully plastic*. Berikutnya barulah greenwood dan Williamson (1996) mengembangkan temuan Hertz. Teori Hertz menjadi dasar untuk menganalisa permasalahan kontak, dimana *asperity* terdeformasi secara elastis.

Semua hal yang berhubungan dengan mekanisme kontak mekanisme kontak antara dua benda dipelajari dalam ilmu mekanika kontak (*contact mechanics*), yang merupakan bagian dari ilmu tribologi. *Contact mechanics* mempelajari mengenai tegangan dan deformasi yang timbul ketika permukaan saling bersentuhan satu sama lain pada satu titik atau lebih (*contact*), dimana gerakan dua atau lebih benda dibatasi oleh suatu *constraint*. Kontak yang terjadi antara dua benda dapat berupa titik (*point*), garis (*line*) ataupun permukaan (*surface*). Jika kontak yang terjadi diteruskan dan dikenai suatu beban kontak, maka kontak yang awalnya berupa suatu titik dapat berubah menjadi bentuk ataupun permukaan yang lain.

1. **Topologi Permukaan (Tekstur Permukaan)**

Topografi permukaan adalah representasi tiga dimensi dari ketidakteraturan permukaan geometris. Sebuah permukaan dapat melengkung, kasar atau halus tergantung pada besar dan jarak antara puncak dan lembah dan juga tergantung pada bagaimana permukaan dibuat. Tekstur permukaan mengacu pada simpangan terbatas permukaan geometri ideal dari part.



**Gambar 2.2 *Surface* Topografi**

Karakteristik sebenarnya dari kekasaran permukaan diperlukan untuk menganalisis pengaruh kekasaran permukaan pada berbagai parameter tribologis. Kekasaran berkaitan dengan ketidakteraturan jarak dekat yang tertinggal pada suatu permukaan dari sebuah proses produksi. Hal ini merupakan ukuran tekstur permukaan atau penyimpanan yang baik, berdekatan, acak. Gelombang adalah komponen tekstur dimana kekasaran saling tumpah tindih. Hal itu berkaitan dengan penyimpanan jarak luas dari kekasaran yang disebabkan oleh getaran, cengkeraman, perlakuan panas, atau regangan Song, J. F (1992). Kekasaran tidak permukaan tidak dapat dengan mudah ditentukan oleh suatu parameter. Bahkan, ada beberapa cara untuk menunjukkan kekasaran. Semua permukaan kasar memiliki tinggi dan panjang gelombang, dengan bentukan yang diukur pada sudut kanan permukaan dan yang terakhir dalam bidang permukaan. Distribusi ketinggian diukur dari bidang referensi (misalnya, datar).

Karakteristik permukaan bisa jadi satu dimensi (1-D) atau dua dimensi (2-D) tergantung pada pemesinan dan proses finishing. Untuk kasus 1-D, tinggi (z) bervariasi dengan salah satu koordinat, sedangkan koordinat lain terdapat “*lay*” dimana variasi dari z relatif kecil. Tapi untuk permukaan yang dibuat oleh proses manufaktur konvensional, ketika karakterisasi 1-D tidak sesuai, maka diperlukan deskripsi kekasaran permukaan 2-D. Atomic Force Microscope (AFM) dan profilometer permukaan 3D digunakan untuk meningkatkan resolusi dan keakuratan pengukuran kekasaran. Representasi 1-D dan 2-D khusus dari permukaan datar nominal (poles) ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Skala yang digunakan untuk ketinggiannya jauh lebih besar dari pada panjang gelombang karena ketinggian *asperity* dari kedataran sangat kurang jika dibandingkan dengan panjang gelombang.

1. **Kontak Antara Dua Permukaan**

Permukaan asli pada benda padat berisi ketidakteraturan atau penyimpangan bentuk-bentuk geometris yang ditetapkan. Bahkan permukaan paling halus pun mengandung penyimpangan ketinggian yang melebihi beberapa kali jarak antar atom. Tidak ada permukaan yang memiliki geometris sempurna. Dengan perbesaran yang cukup tinggi, kekasaran permukaan dapat dilihat. Ketika dua permukaan saling kontak, dan daerah kontak sebenarnya adalah sebagian kecil dari area kontak yang terlihat atau nominal. Lebih lanjut, kekasaran permukaan memiliki peran penting pada gesekan antara dua permukaan.

Model kontak elastis yang diusulkan oleh Hertz (1882) berdasarkan pada asumsi bahwa akan ada kontak tunggal antara *indenter* dan material elastis sempurna homogen yang memiliki permukaan halus. Tetapi jika permukaan kasar, maka kontak antara ujung *indenter* dan *asperity* permukaan terbentuk. Untuk model kontak *asperity* tunggal, bidang kontaknya lebih sedikit dan dengan demikian tegangan yang dihasilkan akan menjadi tinggi pada beban yang kecil. Jadi pada tahap awal, kekasaran akan mengalami deformasi plastis yang memberikan perpindahan lebih banyak daripada yang ditentukan oleh deformasi elastis. Namun, Taborr (1951) menyatakan bahwa pada indentasi jauh lebih dalam dari sepuluh kali ketinggian *asperity*, efek kekasaran diabaikan.



**Gambar 2.3 Representasi umum dari permukaan 1-D dan 2-D**

Kebanyakan suatu komponen mengalami kontak mekanis pada permukaan ketika sedang dalam kondisi kerja, seperti kontak antara roda gigi, silinder dengan linier pada motor bakar dan bearing. Pada permukaan komponen yang belum mengalami kontak ketika dilakukan pembesaran sepersekian micron, maka permukaan tersebut memiliki struktur topografi yang tidak rata (asperity) akibat dari proses pemesinan. Lihat gambar di bawah ini

**Gambar 2.4 struktur topografi yang tidak rata (*Asperity*)**

Pada gambar di atas, permukaan yang tidak rata (*asperity*) akan mengalami deformasi dan keausan yang sangat tinggi akibat meningkatnya tegangan, gesekan, keausan dan peningkatan suhu saat melakukan kontak pertama kali sampai mengalami kondisi dimana keausan dan deformasi tersebut berkurang (kondisi *steady*), proses inilah yang disebut dengan *running-in*. Setelah kondisi keausan dan deformasi *steady*, maka selanjutnya dalam waktu tertentu keausan dan deformasi tersebut meningkat kembali, tetapi hal ini tidak disebabkan oleh faktor *running-in* tetapi akibat faktor kelelahan material dan usia pakai dari material tersebut.

Di dalam kehidupan sehari-hari kita mengenal proses *running-in* dengan istilah *in reyen* (ambil contoh di dalam motor bakar), pada saat kita membeli motor baru, maka akan ada istilah tersebut. Instilah ini bermaksud agar pengguna menggunakan motor dengan hati-hati sesuai ketentuan yang telah ditetapkan oleh pabrikan, karena pada kondisi ini sangat rawan sekali terjadi keausan dan deformasi yang berlebihan akibat dari pemakaian yang tidak sesuai dengan aturan.

Perubahan-perubahan seperti ini sangat menguntungkan ketika proses *running-in* berjalan dengan baik yaitu derajat dari *komformitas* meningkat sehingga permukaan pada area kontak menjadi lebih baik. Pada kasus kontak tertentu, karena beberapa kondisi kontak, bila tingkat derajat dari *komformitas* itu tidak dicapai maka akan menimbulkan kegagalan pada komponen-komponen sesaat setelah operasi pada kontak awal.

1. **Teori Hertz**

Pada saat ini dua metode telah digunakan untuk menyelidiki kontak antara dua buah permukaan suatu material, yaitu dengan metode analisis yang disederhanakan oleh Hertz (analitik) dan metode numerik yang biasa disebut dengan FEM (*Finite Element Method*).



**Gambar 2.5 *Hertzian Contact***

Hertz menganalisa tegangan pada kontak antara dua benda elastis, dimana tekanan dan defleksi akan timbul dari hubungan antara dua benda elastik yang solid. E\* merupakan gabungan dari modulus dan spesimen, yang didefinisikan sebagai berikut:

 (2.1)

Dan

 (2.2)

Dimana R adalah radius/jari-jari dari suatu permukaan lingkaran kontak.

Pada teori Hertz ini, perhitungan kontak dapat dilihat dari bentuk kontaknya dan teori ini diambil berdasarkan pendekatan yang berbasis area.

**2.6.1 Kontak Garis (*Line Contact*)**

 Solusi untuk permasalahan analitik yang terjadi pada kontak garis adalah dengan cara mendistribusikan tegangan dalam spesimen radial, diarahkan ke titik kontak. kita melihat bahwa gradien permukaan akibat tekanan P(x) bertindak atas strip – a ≤x≤a. Dimana tekanan yang terjadi pada setiap permukaan adalah sama besar, sehingga:

 (2.3)

Substitusi dari persamaan (2.3)

 (2.4)

Dan diperoleh:

 (2.5)

Sehingga:

Pada setiap titik R dalam spesimen, tegangan radial. Dalam dua dimensi kutub koordinat, untuk beban P per satuan panjang, tegak lurus terhadap permukaan spesimen yang diberikan oleh:

 (2.6)

Pada kontak garis *a* merupakan lebar semi kontak dan tekanan maksimum kontak adalah:

 (2.7)

Pada kontak antamuka σx – σy = -p(x), di luar wilayah kontak pada semua komponen tegangan pada permukaan adalah nol. Sepanjang sumbu-z integrasi yang lurus diberikan oleh persamaan:

 (2.8)

Sehingga tegangan geser utama diberikan oleh:

 (2.9)

Dan tegangan maksimum pada x = 0, dan z = 0,78a

 (2.10)

**Table 2.1 Tegangan maksimum yang terjadi di sumbu-z**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| a/b | 0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| z/b | 0.785 | 0.745 | 0.665 | 0.590 | 0.530 | 0.480 |
| (T1)max/P0 | 0.300 | 0.322 | 0.325 | 0.323 | 0.317 | 0.310 |

**2.6.2 Kontak Titik (*Circular Point Contact*)**

Titik awal untuk memecahkan masalah kontak adalah dengan mengetahui pengaruh beban “titik” yang diterapkan pada isotropik elastis, homogen dan setengah linear. Dari pengaruh beban tersebut dapat diperoleh jari-jari lingkaran kontak, yang dapat diperoleh dari persamaan berikut:

 (2.11)

Pendekatan dari titik-titik yang jauh dalam dua benda solid dapat diperoleh dari persamaan berikut:

 (2.12)

Beban total kompresi solid yang berkaitan dengan tekanan dapat dirumuskan sebagai berikut:

 (2.13)

Oleh karena itu, tekanan maksimum *P0* adalah 2/3 kali tekanan rata-rata dari *Pm*. Agar lebih praktis, biasanya beban yang diterapkan adalah beban total, sehingga dapat digunakan persamaan (2.13) kombinasi dari persamaan (2.11) dan (2.12) dapat dituliskan:

 (2.14)

 (2.15)

 (2.16)

Sehingga tegangan maksimumnya adalah:

 (2.17)

Dimana r = a, z = 0

**2.6.3 Kontak Elips (*Elliptical Point Contact*)**

Dalam kasus ini, bentuk bidang kontak tidak diketahui dengan pasti. Namun, kita dapat asumsikan bahwa S adalah berbentuk elips, yang memiliki sumbu semi di a dan b. Hertz mengakui bahwa masalah dalam elatisitas adalah sejalan dengan salah satu potensi elektrostatik. Hertz mencatat bahwa muatan yang intensitasnya lebih dari elipsoid suatu daerah pada permukaan konduktor bervariasi sebagai koordinat dari semi ellipsoid.

 (2.18)

Dimana E (e) dan K (e) secara lengkap eliptik terpisahkan dari e argumen , b < a. Distribusi tekanan semi ellipsiodal dan dari volume ellipsoid, dapat disimpulkan bahwa total beban P dapat dirumuskan sebagai berikut:

 (2.19)

Dimana tekanan rata-rata

Untuk menemukan bentuk dan ukuran elips kontak, dapat kita peroleh dari persamaan berikut:

 (2.20)

Dan

 (2.21)

Kita sekarang menulis c = (ab)1/2 dan substitusi P0 dari (2.19) ke (2.21) sehingga diperoleh:

Dan

 (2.22)

Kompresi ini dapat diperoleh dari persamaan (2.18) dan (2.19):

 (2.23)

Re merupakan kelengkungan aquivalent relatif *Re =* (*R”R’*)1/2 dan F merupakan faktor koreksi.



**Gambar 2.6 Geometri kontak antara sebuah bola elastis**



**Gambar 2.7 Kontak Bodi dengan Profil Umum**

Dan selanjutnya tekanan maksimum dapat dirumuskan sebagai berikut:

 (2.24)

**2.7 Gesekan pada Sliding dan Rolling Kontak**

Pada friksi adesif memperhitungkan perumusan dari permasalahan kontak yang diperoleh dari beberapa permasalahan antara tekanan dan area kontak. hukum friksi ditetapkan secara eksperimen oleh Coulomb (1785), biasanya digunakan untuk menggambarkan hubungan antara normal p dan tegangan tangensial T dalam suatu area kontak.

 (2.25)

Dimana τ0 dan μ adalah parameter hukum dari friksi. Persamaan (2.25) digunakan dalam perumusan permasalahan kontak untuk bodi elastis dalam kasus kontak geser. Dalam tribologi, komponen mekanik dan adesif dari gaya gesek biasanya dianggap sebagai independen, sehingga ditetapkan bahwa hubungan antara komponen dari gaya gesek tergantung pada syarat-syarat friksi, sifat mekanis dari bodi dan lainnya.



**Gambar 2.8 Kontak Geser**

****

**Gambar 2.9 Gaya-gaya yang terjadi akibat kontak geser**