

PENENTUAN UMUR BANTALAN LUNCUR TERLUMASI BERDASAR LAJU KEAUSAN BAHAN

Hasta Kuntara¹, Sigit Gunawan², Sigit Budi Hartono³

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat perumusan teoritik umur bantalan luncur terlumasi berdasar volume keausan bahan bantalan yang saling kontak dengan pendekatan kajian pustaka menggunakan variabel-variabel linier maupun variabel pembagi yang berkaitan langsung dengan keausan bantalan, yang selama ini belum banyak dipakai sebagai salah satu penentuan umur bantalan luncur. Penelitian dilakukan dengan melakukan kajian perumusan, persamaan-persamaan, teori serta konsep-konsep keausan bahan dan pelumasan pada suatu kontak permukaan yang telah ada, yang bersumber dari handbook ASM, text book, penelitian pada jurnal nasional maupun internasional. Pembuatan formula atau persamaan ini mengacu pada persamaan keausan abrasif dengan memformulasikan dengan persamaan maupun variabel-variabel keausan L, k, F, V, ξ dan A sebagai variabel linier serta C, v , dan H sebagai variabel pembagi terhadap V_a , untuk mendapatkan volume keausan. Keausan ini kemudian menjadi penentu umur bantalan luncur dengan konsep pengurangan ukuran bantalan akibat keausan terhadap kondisi standarnya, dengan menganggap keausan merata radial. Penelitian ini menghasilkan formula penentuan umur bantalan luncur terlumasi berdasar keausan bahan bantalan terlumasi, dengan pendekatan V_a/t sebagai laju keausannya dan V_p , serta V_{ps} . $V_a = \frac{F.V.A.L.k.\xi}{v.H.c}$, V_a/t merupakan formula laju keausan yang didapat, penentuan umur dengan melakukan pengurangan $\Delta V = V_s - V_{ps}$, V_s : volume standar awal bantalan, V_{ps} : volume tersedia. Sehingga umur t adalah waktu yang dapat ditentukan dari selisih volume standar terhadap laju volume V_a/t , $t = \frac{\Delta V}{V_a/t}$.

Kata Kunci: Volume Keausan, Umur Bantalan, Laju Keausan, Pelumasan

PENDAHULUAN

Pada suatu sistem peralatan/mesin terdapat banyak komponen yang bergerak baik dalam bentuk gerakan angular maupun gerakan linear. Gerakan relatif antar komponen mesin atau kontak antar komponen akan menimbulkan gesekan, dimana gesekan ini dapat menurunkan efisiensi mesin, meningkatkan temperatur, keausan, dan berbagai efek negatif lainnya. Gesekan antara komponen mesin tersebut dapat diminimalkan dengan menggunakan bantalan atau *bearing*. Terdapat dua jenis mekanisme yang digunakan

¹ Jurusan Teknik Mesin – STTNAS Yogyakarta

² Jurusan Teknik Mesin – STTNAS Yogyakarta

³ Jurusan Teknik Mesin – STTNAS Yogyakarta

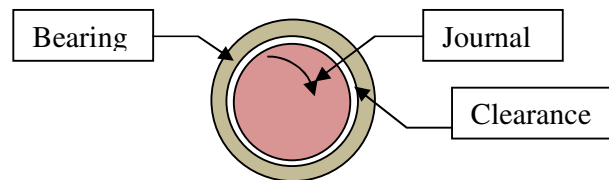
bantalan dalam mengatasi gesekan yaitu mekanisme *sliding* dan mekanisme *rolling*. Untuk mekanisme *sliding*, akan terjadi gerakan relatif antar permukaan, sehingga perlu pelumasan yang baik karena penggunaan pelumas memegang peranan yang sangat penting. Sedangkan mekanisme *rolling*, dimana tidak boleh terjadi gerakan relatif antara permukaan yang berkontak, yang dipisahkan oleh material rolling sehingga peran pelumas lebih kecil.

Sistem bantalan poros merupakan sistem yang terdiri dari poros yang berputar yang didukung oleh suatu bantalan sebagai dudukan saat berputar. Bantalan poros berdasar jenis kontakannya terdiri dari bantalan gelinding dan bantalan luncur. Bantalan gelinding merupakan bantalan yang mempunyai dua buah cincin luar dan dalam dengan media kontak berupa bola maupun roll antara kedua cincin tersebut. Poros tidak berhubungan langsung dengan media gelindingnya namun lewat cincin dalam bantalan. Untuk bantalan luncur berbentuk suatu cincin dengan bahan tertentu yang berhubungan atau kontak langsung dengan porosnya yang berputar, tanpa media gelinding untuk kontakannya. Akibat kontak langsung inilah yang menyebabkan terjadinya keausan.

Keausan bantalan menentukan umur bantalan tersebut berdasar laju keausannya. Bantalan luncur memerlukan pelumasan yang cukup, untuk menjaga tingkat keausan yang berlebih yang akan mempengaruhi umur bantalan. Keausan bantalan luncur dipengaruhi oleh banyak faktor saat beroperasinya, antara lain: gaya "F" yang berasal dari pembebanan pada poros transmisi yang didukung, luas permukaan kontak "A" berupa luasan silindrikan yang mendukung poros saat berputar, kecepatan berputar poros "V", panjang lintasan "L" yang dilalui poros saat berputar berupa lingkaran, viskositas kinematik pelumas "v" yang akan mengurangi gesekan langsung dengan poros saat berputar, kekerasan bahan bantalan luncur "H" yang tergantung dari jenis bahan bantalan yang digunakan, *clearance* "C" atau jarak bebas antara poros dan bantalan luncurnya, faktor keausan abrasif "k" yang bergantung pada kontak dan jenis bahan kedua kontakannya, dan faktor pelumasan "ξ" terhadap keausan permukaan kontak yang terlumasi. Faktor "k" dan "ξ" merupakan faktor tanpa dimensi yang diperoleh berdasar percobaan yang bergantung dengan jenis pelumasannya. Selain faktor tersebut di atas umur bantalan luncur juga dipengaruhi oleh kondisi pengoperasian berupa saat *stop and go* poros, yang sangat berpengaruh terhadap kondisi pelumasan bantalan luncur saat bekerja.

Penelitian ini menggunakan pendekatan yang lebih sederhana dengan menghubungkan variabel-variabel terkait dengan bantalan berdasar teori keausan dan pelumasan, serta hasil-hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan keausan kontak terlumasi maupun kering, untuk mendapatkan suatu formula pendekatan tentang umur bantalan luncur berdasar laju keausan pada kondisi terlumasi.

Poros yang berputar atau poros transmisi memerlukan suatu kedudukan tetap atau dukungan berupa suatu bantalan yang memungkinkan poros tersebut dapat berputar lancar terhadapnya, untuk meneruskan daya dan putaran dari input ke output. Poros transmisi tersebut dalam meneruskan daya dan putaran akan membawa beban atau gaya dari kontak roda gigi, cam maupun sistem transmisi lainnya yang bekerja menghasilkan torsi maupun momen lengkung yang akan ditanggung oleh bantalannya. Bantalan luncur/*journal bearing*, merupakan bantalan yang paling sederhana konstruksinya berupa *journal/poros* dan *bushing/house* bantalan yang saling langsung kontak keduanya.

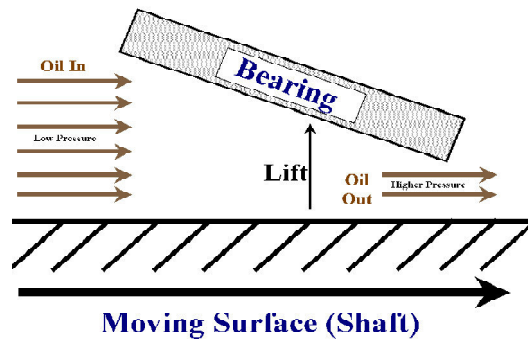


Gambar 1. Bantalan Luncur (Khonsani MM, 2006)

Performa bantalan luncur dipengaruhi antara lain:

1. *Strength*: pada saat bekerja bantalan terjadi *strength* atau tegangan pada permukaan kontak dan tekanan pada luasan kontak bantalan yang menghasilkan suatu tegangan geser terutama pada bahan bantalan luncurnya yang akan berpengaruh terhadap kekuatan bantalan.
2. *Wear/keausan*: saat berputar terhadap bantalan, poros akan menghasilkan suatu keausan akibat gesekan antar asperity permukaan bahan yang dipengaruhi oleh jarak lintasan yang ditempuh sistem, beban atau gaya yang bekerja pada kedua permukaan kontak dan luasan kontak. Keausan ini tidak selalu volumetrik namun lebih pada keausan radial $''h''$.

3. PV faktor: merupakan faktor kemampuan bantalan terhadap tekanan kerja antara permukaan poros dengan permukaan bantalan dan kecepatan poros saat bekerja yang berhubungan terbalik dengan h (*dept of wear*). Nilai PV yang kecil akan meningkatkan dari umur bantalan.
- 4.



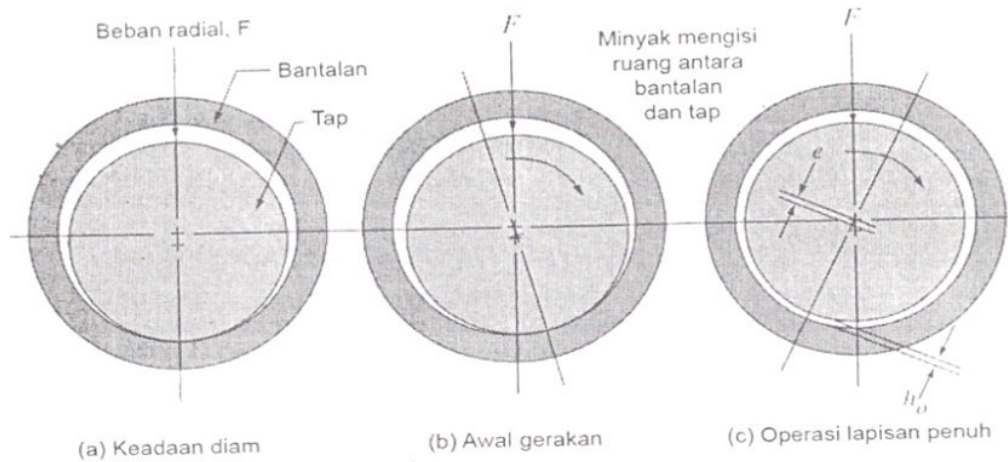
Gambar 2. Moving Plain (Three Bound Co. LTD, 1984)

Gambar 2 menunjukkan pergerakan pelumas oleh sistem bantalan, dimana terjadi pengangkatan poros oleh minyak pelumas akibat peputaran poros pada bantalannya. Akibat gerakan poros tersebut terjadi perubahan tekanan pada lapisan minyak pelumas ketika memasuki area kontak dan sebelum memasuki area kontak. Tekanan ketika memasuki area kontak akan lebih besar dari pada sebelum memasuki area kontak, yang akan sedikit terjadi pengangkatan posisi poros saat awal gerakan/start maupun ketika diam. Ketika lapisan pelumas memasuki area tekan permukaan maka kondisi tersebut dapat diartikan pada kondisi ketebalan lapisan pelumas minimum yang dijaga agar jangan sampai pecah.

Faktor PV di atas digunakan untuk merancang bantalan luncur dengan pelumasan kontak batas antara bantalan dan journalnya dengan tidak memperhatikan ketebalan lapisan pelumas. Pada perancangan sistem bantalan luncur menggunakan dasar parameter PV ini terjadi kontak langsung bantalan dengan journalnya walaupun dipisahkan oleh lapisan pelumas. Kondisi ini berada pada sistem pelumasan kontak boundary. Sistem ini mempunyai koefisien gesek dan rugi-rugi yang lebih tinggi dengan kecepatan lebih rendah.

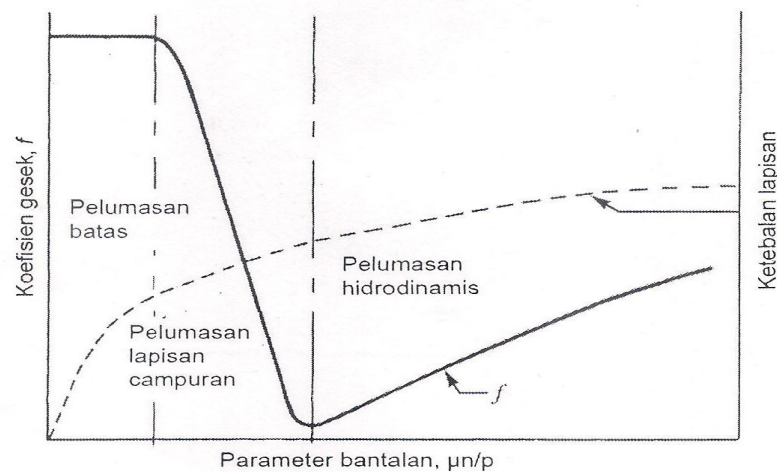
Parameter bantalan yang lain adalah $\frac{\mu \cdot n}{p}$ yaitu parameter bantalan tak berukuran sebagai hubungan viskositas pelumas, putaran poros dan tekanan kerja bantalan.

Parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kerja sistem bantalan luncur, dengan mendasarkan pada viskositas pelumas sebagai lapisan tipis yang tidak boleh pecah atau gagal dalam melayani kerja bantalan yang akan di pengaruhi oleh putaran porosnya. Semakin tinggi putaran poros maka tekanan minyak pelumas sebagai lapisan tipis akan semakin besar dan dijaga agar tidak pecah sehingga keausan dapat terjaga.



Gambar 3. Posisi journal (Bernard Hamrock, 2004)

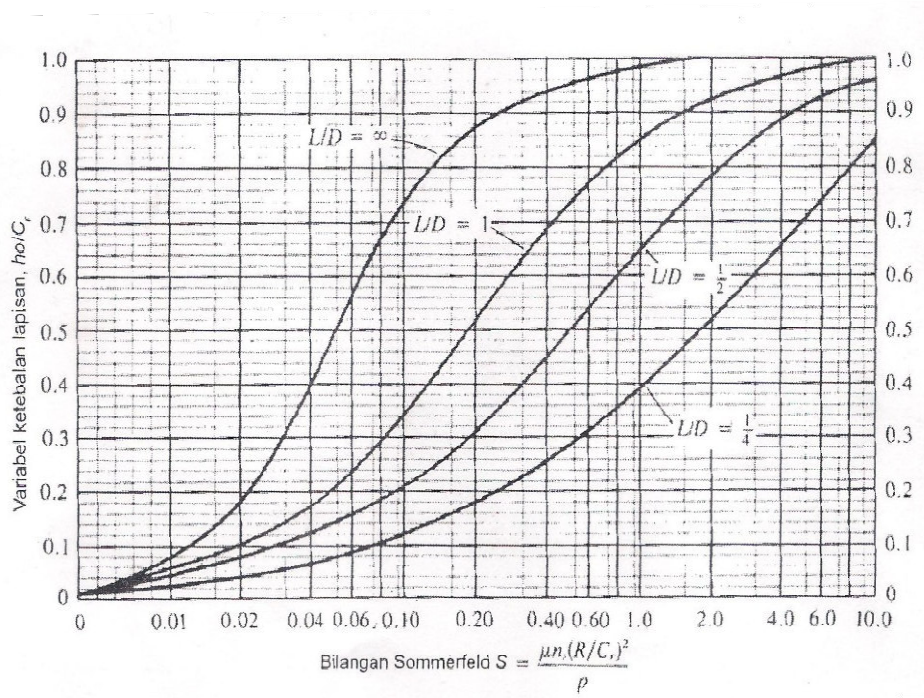
Pengaruh dari parameter tersebut menunjukkan juga hubungan antara koefisien gesek dan jenis kontak pelumasannya seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Kontak pelumasan *boundary* atau pelumasan batas mempunyai tingkat koefisien gesek yang paling tinggi hingga pelumasan hidrodinamik dengan koefisien gesek yang paling rendah.



Gambar 4. Kurva Stribeck (Robert L.Mott, 2009)

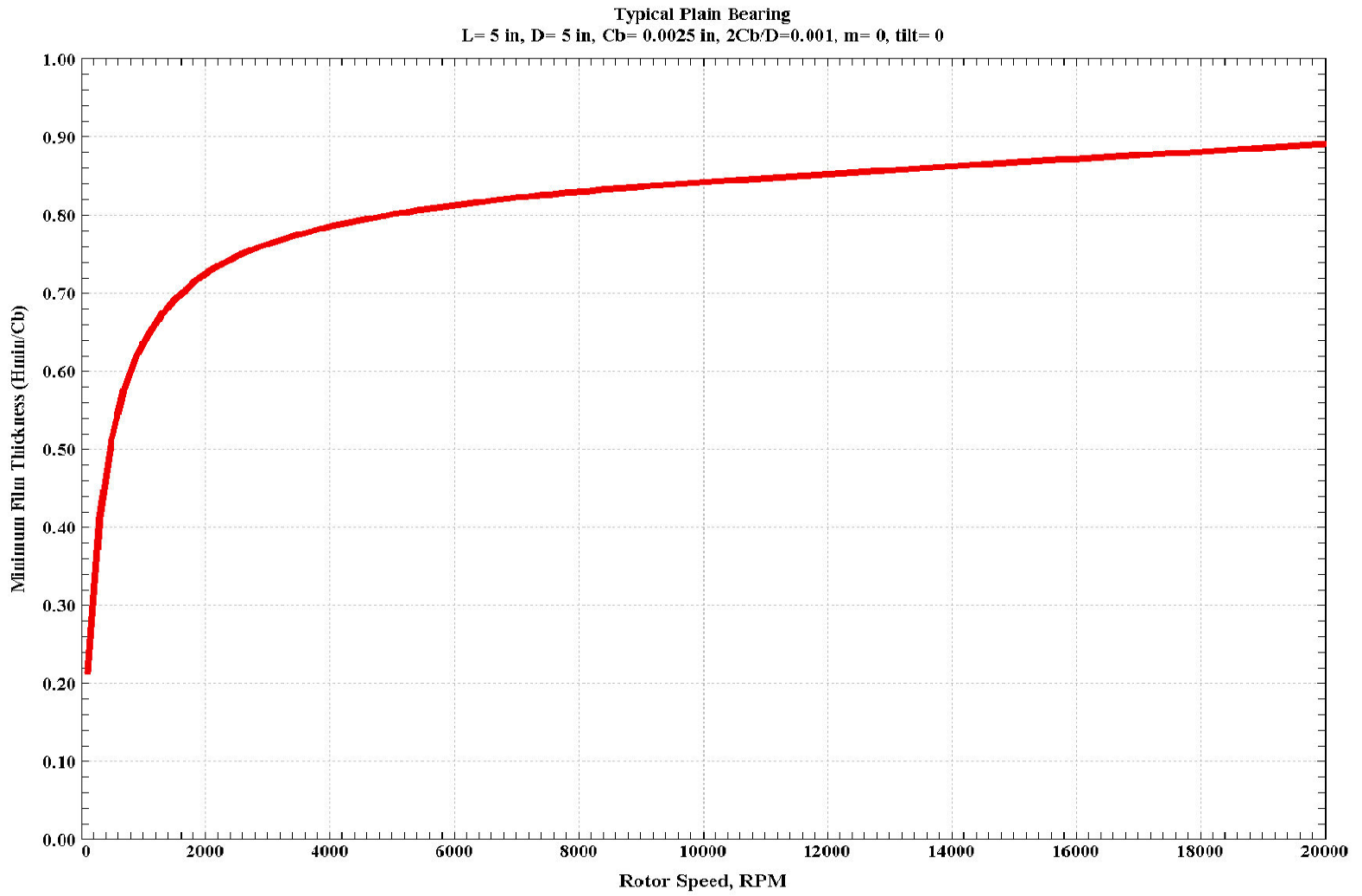
Bantalan luncur ini merupakan bantalan yang memerlukan pelumasan yang cukup, baik ketebalan pelumas maupun viskositas pelumasnya dengan ketebalan lapisan pelumas sebesar $h_0 = 0,00025 D$, dimana D adalah diameter bantalan. Hubungan antara variabel viskositas, putaran, jari-jari, kelonggaran dan tekanan kerja bantalan dinyatakan sebagai bilangan Sommerfeld yang tak berdimensi sebagai bilangan: $S = \frac{\mu n \cdot (\frac{R}{C})^2}{p}$, (**Robert L. Mott, 2009**).

Bilangan Sommerfeld ini berhubungan dengan variabel h_0/C atau perbandingan ketebalan pelumas dengan kelonggaran bantalan seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Semakin tinggi bilangan Sommerfeld maka parameter h_0/C akan semakin besar dengan berdasar perbandingan L/d nya.



Gambar 5. Hubungan h_0/C dan S (**Robert L.Mott, 2009**)

Ketebalan lapisan pelumas harus terjaga untuk berbagai putaran dimana semakin tinggi putaran ketebalan minyak pelumas harus semakin tinggi untuk menjaga performa terhadap keausan bantalan seperti pada gambar 6.



Gambar 6 : Hubungan kecepatan dan tebal pelumas

Fungsi pelumas pada kontak bantalan adalah untuk mengendalikan gesekan dan keausan, melindungi permukaan dari korosi atau oksidasi, meredam beban kejutan, menghindari kontaminasi, dan mendinginkan permukaan kontak. Sistem pelumasan antara dua permukaan yang bergerak relatif melibatkan *behavior* partikel pelumas antara kedua permukaan, tipe pelumas, jenis pelumasan, dan metoda aplikasi pelumas bahan yang saling kontak, dengan memberikan lapisan tipis pelumas diantara kedua permukaan. Tipe pelumas dapat berbentuk gas, cair, maupun padat. Sedangkan jenis pelumasan dibedakan menjadi *boundary*, *mixed boundary*, dan *full film lubrication*. Hal ini didasarkan pada karakteristik gesekan dan lapisan pelumas antara permukaan yang bergesekan.

Viscosity adalah kemampuan suatu benda cair untuk mengalir, biasanya dinyatakan dalam satuan centistokes (cSt) atau centipoise (cP). Viskositas didefinisikan sebagai ukuran ketahanan suatu fluida terhadap beban geser. Viskositas suatu material cair umumnya berbanding terbalik terhadap temperatur dan berbanding lurus terhadap tekanan. Ada dua jenis ekspresi viskositas yaitu viskositas absolut atau viskositas dinamik η dan viskositas kinematik ν yang dihubungkan oleh persamaan:

$$\eta = \nu \rho \quad (\rho \text{ adalah densitas fluida})$$

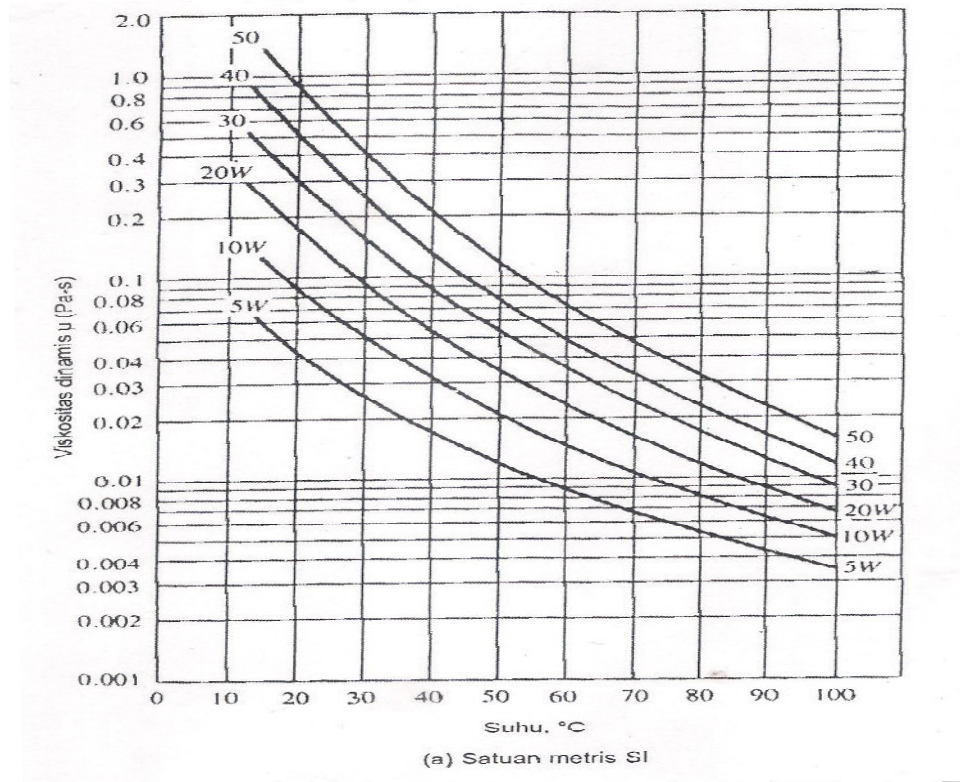
Viskositas kinematik dinyatakan dengan satuan cm^2/detik (Stoke) dalam SI atau $\text{inchi}^2/\text{detik}$ dalam USCS. Viskositas kinematik suatu cairan dapat diukur dengan viskometer yang bisa menggunakan mekanisme kapiler atau rotasional.

Kemampuan pengendalian keausan ini pada dasarnya bergantung pada viskositas pelumas yang digunakan, semakin tinggi viskositasnya maka keausan dan gesekan akan semakin kecil. Pelumas dengan tingkat viskositas yang lebih tinggi lebih dapat menahan tekanan yang lebih besar tanpa menjadikan permukaan pelumasan oli berubah apabila dibandingkan dengan pelumas berviskositas yang lebih rendah. Viskositas sangat tergantung pada temperature sekitar seperti pada Gambar 7.

Pelumasan Boundary

Pelumasan boundary merupakan pelumasan kontak langsung antara permukaan relatif diantaranya yang menghasilkan gesekan dan keausan diantara puncak-puncak *asperity* walaupun telah dibatasi oleh lapisan pelumas. Pelumasan jenis ini menghasilkan gesekan dan keausan paling besar karena masih adanya kontak langsung antar material.

Pelumasan Batas: merupakan pelumasan campuran dimana lapisan pelumas sebagai pembatas antara dua permukaan kontak, yang menghasilkan gesekan dan keausan lebih kecil karena masih dimungkinkan adanya kontak langsung pada beberapa bagian *asperity* permukaan.



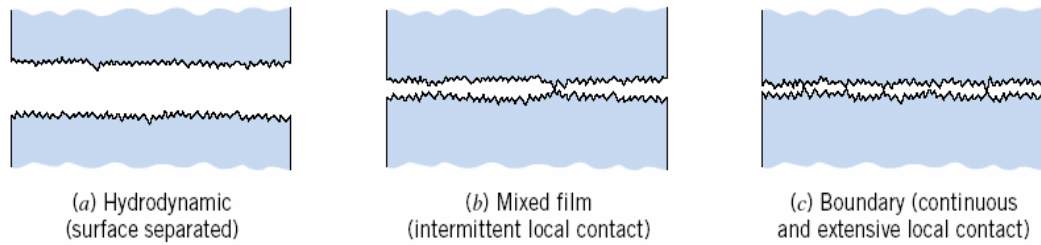
Gambar 7. Grafik Hubungan Viskositas Pelumas Dan Suhu (Robert L.Mott, 2009)

Pelumasan hidrodinamik

Pelumasan hidrodinamik merupakan pelumasan penuh dimana lapisan pelumas memisahkan kedua permukaan kontak dengan lebih sempurna karena tidak adanya kontak *asperity* secara langsung. Lapisan pelumas berfungsi sebagai kontak antar dua permukaan yang menghasilkan gesekan dan keausan sangat kecil.

Pelumasan campuran/ *mixed film lubrication*:

Pada *mixed film lubrication* beberapa puncak permukaan bersentuhan dan pada bagian lain terbentuk lapisan pelumas. Koefisien gesekan pada mode ini berkisar antara 0,004/d 0,10.

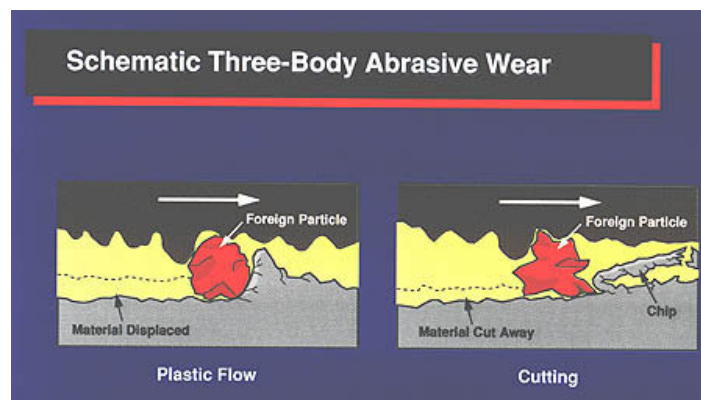


Gambar 8. Kontak Pelumasan (Frein.R.S, 1991)

Keausan bahan diartikan sebagai peristiwa berkurangnya material permukaan bahan oleh gaya mekanis, elektrik, maupun kimia yang akan menghasilkan sejumlah volume keausan maupun pengurangan berat material (TA Stolarski, 2000). Keausan pada dasarnya dibedakan menjadi tiga golongan:

1. Keausan Abrasif

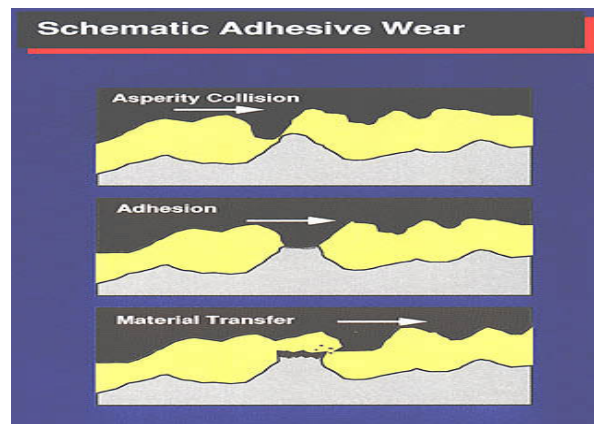
Keausan antara dua permukaan bahan yang saling kontak dan bergerak diantaranya dengan gaya tertentu sebagai sistem *two body contact* maupun *three body contact*, dengan kekerasan dan kekasaran permukaan tertentu, yang menghasilkan suatu volume keausan. Keausan tersebut terjadi akibat material lebih keras menggerus material lunak pada puncak-puncak asperitynya, maupun akibat adanya material abrasif keras diantara kedua permukaan tersebut. Keausan ini biasa terjadi pada *journal bearing*, *cam*, *rolling element* dan *ring piston* yang ditandai dengan adanya goresan-goresan permukaan dan *scoring*.



Gambar 9. Keausan Abrasif (Three Bound Co. LTD, 1984)

2. Keausan Adhesif

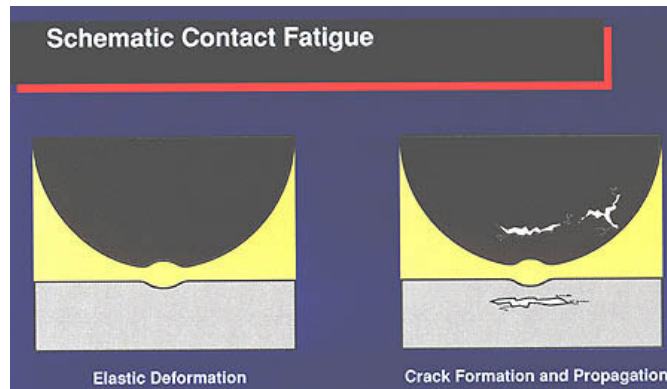
Keausan antara dua permukaan kontak bahan yang bergerak diantaranya dengan gaya yang besar, yang menimbulkan perpindahan material ke sisi lain dengan mekanisme pelekatan. Perpindahan tersebut diperoleh dari kontak *asperity* yang terlepas dan terbawa oleh pergeseran permukaan dan melekat ke permukaan lain. Keausan ini biasa terjadi pada mekanisme kontak yang tidak terlumasi dengan sempurna, gaya yang besar dan perbedaan kekerasan yang tidak terlalu tinggi, seperti pada cam, ring piston, rolling element dan roda gigi, yang ditandai dengan adanya lecetan permukaan dan permukaan yang mengkilap. Keausan ini meninggalkan lekatan bahan yang terlepas berpindah ke bagian permukaan lain dengan menempel sebagai bahan tambah, yang pada akhirnya akan mempengaruhi ukuran dari material atau komponen lain dengan mengakibatkan kemacetan sistem. Mekanisme ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Keausan Adhesif (Three Bound Co. LTD, 1984)

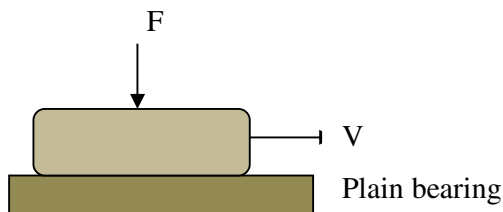
3. Keausan Fatik

Keausan antara dua permukaan bahan yang saling kontak dan bergerak diantaranya dengan gaya yang besar yang terjadi berulang-ulang, yang menimbulkan lelah permukaan sehingga mengakibatkan lepasnya material permukaan. Mekanisme ini terjadi akibat gaya dan pergeseran pada puncak *asperity* permukaan berulang yang menimbulkan retak mikro dalam yang akan terus menjalar hingga permukaan sehingga dapat terlepas sebagai debris material. Keausan ini biasa terjadi pada mekanisme rolling contact, cam, roda gigi, tappet valve, yang ditandai dengan adanya lubang-lubang kecil yang kasat mata dan permukaan yang tidak rata.



Gambar 11. Keausan Fatik (**Three Bound Co. LTD, 1984**)

Keausan behubungan dengan gaya yang bekerja dan kecepatan sliding system seperti dijelaskan pada Gambar 12.



Gambar 12. Sliding Plain (**Frein.R.S, 1991**)

Keausan berhubungan dengan gaya, lintasan dan kekerasan bahan terendah yaitu:

$$V = k \cdot \frac{F \cdot L}{3 \cdot H} \quad (\text{H adalah kekerasan bahan bantalan}) \quad (\text{Hamrock, 1999})$$

Jarak luncuran poros terhadap bantalannya merupakan jumlah putaran poros dan keliling porosnya mempengaruhi jumlah volume keausan bantalan. Tekanan yang terjadi pada sistem bantalan luncur ini dipengaruhi pula oleh tekanan kerjanya dengan luasan kontak yang konstan. Pengujian keausan bahan Zn-Al Alloy sebagai salah satu bahan bantalan luncur dengan pelumasan boundary menggunakan pelumas ISO 68 grade menunjukkan peningkatan keausan bahan terhadap jarak luncuran dan tekanan kerja (**MiroslavBabic, 2005**).

Kecepatan putar poros merupakan kecepatan sliding poros terhadap bantalannya yang diam, kecepatan ini memberikan volume maupun laju keausan yang berbanding lurus, disamping gaya atau beban yang bekerja pada sistem bantalan luncur. Pada pelumasan padat MoS₂, TiO₂ terhadap gray iron menunjukkan peningkatan volume keausan dengan meningkatnya kecepatan sliding V dan beban F_n pada sistem bantalan luncur (**Aravind Vadiraj, 2012**).

Kekuatan bahan bantalan luncur diperlukan untuk menopang gaya yang bekerja diatas permukaannya, sehingga diperlukan suatu sifat mekanik bahan bantalan luncur yang baik. Keausan pada *journal bearing* dipengaruhi oleh kekerasan bahan bantalan luncurnya, jarak, dan gaya yang bekerja yaitu: (**Archad, 1973**)

$$\frac{V}{s} = k \frac{F_n}{H} \quad (H = \text{kekerasan bahan bantalan, } s = \text{jarak luncur, } k = \text{faktor keausan})$$

Pada *journal bearing* keausan tidaklah selalu volumetrik namun terjadi keausan radial sebagai suatu kedalaman keausan oleh *asperity* poros. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi dan konstruksi bantalan luncur, dimana terdapat jarak atau kelonggaran antara poros dan bantalannya, serta faktor kecepatan kerja dan kondisi berhenti maupun awal operasi. Sehingga keausan akan berada pada tempat yang sama pada suatu titik tertentu dari kedudukan porosnya.

Faktor kekuatan bantalan yang didefinisikan sebagai PV sangat berpengaruh terhadap keausan bahan bantalan dimana apabila PV naik maka nilai h sebagai keausan radial akan meningkat menurut persamaan berikut (**JK.Lancaster, 1973**):

$$h = k.P.V.t ,$$

Dengan: k= koefisien keausan

P= tekanan

V= kecepatan

t= waktu

Pengoprasian bantalan luncur pada dasarnya memerlukan suatu pelumasan baik pelumasan *fluid* maupun *solid*. Pada pelumasan *fluid* bantalan luncur akan sangat dipengaruhi oleh viskositas pelumas ν , luasan kontak A dan jenis kontak pelumasannya boundary maupun untuk hidrodinamik. Viskositas pelumas diperlukan untuk membuat efek

hidrodinamik lift untuk memisahkan kedua permukaan, bila viskositas naik maka efek hidrodinamik lift akan naik, kontak menjadi kecil dan keausan akan berkurang (**Frein.R.S, 1991**).

Ketebalan lapisan pelumas pada sistem bantalan luncur sangat berpengaruh sekali terhadap keausan bantalan dikarenakan fungsi pelumas pada sistem ini adalah sebagai pemisah antar dua permukaan yang bersentuhan. Ketebalan film pelumas akan meningkat dengan meningkatnya viskositas pelumas dengan menjaga kecepatan dan gaya yang konstan, (**Richard C.Erickson, 1990**). Keausan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan V , beban F , dan waktu t , (**Hari Aziz Ameen, 2011**).

Kemampuan *journal bearing* dipengaruhi oleh kecepatan V , beban F , *clearance* C , *oil viscosity* v , radius r , langkah L , *surface finis*, R_a (roughness permukaan) dan tebal film pelumas h_{\min} (tebal minimum pelumas), sehingga apabila $C > R_a$, $h_{\min} > R_a$, $h_{\min} \approx R_a$ maka keausan yang terjadi adalah minimum (**Lu X, 2005**). Viskositas pelumas memberikan pengaruh besar terhadap terjadinya keausan bahan bantalan luncur, baik viskositas kinematik maupun viskositas dinamik pelumas. Semakin tinggi viskositas kinematik pelumas maka kekuatan terhadap tegangan geser pelumas akan semakin besar yang berarti lebih mampu menahan beban bantalan dan dalam hal memisahkan antar dua permukaan yang bersentuhan. Penggunaan viskositas pelumas ini juga memperhatikan jarak kerenggangan antar komponen, dimana jarak kerenggangan semakin kecil maka diperlukan pelumas yang semakin encer. Viskositas kinematik pelumas berpengaruh sekali ketika bantalan luncur beroperasi, dengan meningkatnya viskositas kinematik akan menurunkan keausan bahan (**Khosani, 2006**).

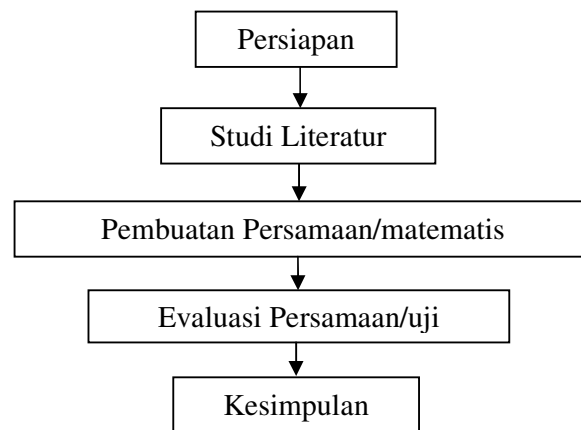
Bantalan luncur merupakan bantalan dengan bentuk yang paling sederhana yang hanya berupa *bushing* silindris maupun dua buah tangkup belahan silindris yang dipasang pada dudukan atau bodi mesin atau rumah poros. Bantalan model ini mempunyai luas permukaan kontak yang besar dengan porosnya, yang akan mempengaruhi tingkat besar keausannya. Bantalan luncur berbahan logam memerlukan pelumasan yang lebih dibanding bantalan gelinding karena luas kontak yang lebih kecil. Bantalan luncur pada prinsipnya distandarkan dari bahan maupun ukurannya terhadap poros dan pembebanannya. Jarak bebas atau *clearance* bantalan luncur saat pemasangan adalah 0,01 mm dan saat penggantian dengan *clearance* 0,05 mm lebih. Pencapaian *clearance* maksimum tersebut pada kenyataannya terjadi karena peristiwa keausan bantalan terlumasi maupun ti-

duk. Apabila laju volume keausan bantalan tersebut dapat diketahui dengan pendekatan matematis, maka waktu pencapaian *clearance* maksimum dapat diketahui sehingga umur bantalan dapat diprediksi sebelumnya. Rentang C 0,01 mm hingga 0,05 mm merupakan diameter yang akan menjadikan volume tersedia bantalan luncur yang akan dihabiskan oleh proses keausan.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari formula/rumus perhitungan umur bantalan luncur berdasar keausan bahan bantalan terlumasi yang terjadi, dengan pendekatan sederhana terhadap variabel-variabel yang berkaitan. Belum ada perumusan secara implisit yang menyatakan bahwa dari keausan bahan dapat ditentukan umur bantalan luncur, dengan menganggap keausan bantalan adalah radial merata atau volumetrik. Dari volume keausan yang terjadi diperoleh laju keausan terhadap waktu berjalannya sistem, kemudian laju keausan tersebut sebagai pembagi terhadap volume yang tersedia yang harus dihabiskan oleh proses keausan sebagai waktu atau umur bantalan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menurut Gambar 13 dengan diawali pengkajian ilmiah maupun kajian pustaka yang sudah ada berdasar penelitian-penelitian berupa *journal*, *hand book*, *text book* yang berkaitan dengan keausan bahan maupun keausan pada bantalan luncur terlumasi dan tidak terlumasi. Membuat persamaan dari variabel-variabel terkait terhadap volume keausan dari literatur yang sudah ada dengan mencari variabel-variabel yang berbanding linier maupun terbalik terhadap volume keausan. Dari volume keausan tersebut yang diperoleh laju keausan dan waktu.



Gambar 13. Diagram Alir Penelitian

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada sistem bantalan luncur yang diteliti dapat diidentifikasi atau analisis bahwa: Gaya F berpengaruh langsung atau linier terhadap volume keausan, semakin besar gaya yang bekerja pada permukaan bantalan maka volume keausan akan semakin besar. Jarak luncuran poros terhadap bantalannya merupakan jumlah putaran poros dan keliling porosnya mempengaruhi jumlah volume keausan bantalan. Tekanan yang terjadi pada sistem bantalan luncur ini dipengaruhi pula oleh tekanan kerjanya dengan luasan kontak yang konstan

1. Lintasan journal L saat berputar pada permukaan bantalan menentukan jumlah keausan bantalan dengan semakin banyak putaran journal maka panjang lintasan akan semakin besar sebagai variabel linier sehingga volume keausan akan semakin meningkat. Panjang lintasan adalah :

$$L = 2\pi \cdot r \cdot n \quad (r = \text{jari-jari poros dan } n = \text{putaran poros})$$

2. Luasan permukaan kontak '' A '' antara journal dan bantalannya merupakan variabel linier terhadap volume keausan bahan bantalan, semakin besar luasan permukaan kontak maka keausan akan meningkat. Dengan menganggap bahwa keausan adalah volumetrik dan bantalan adalah silinder maka luasan kontak adalah sepanjang posisi radial bantalan sebagai :

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \quad (r = \text{jari-jari bantalan dan } L = \text{panjang bantalan})$$

3. PV bantalan luncur yang besar merupakan kemampuan atau kapasitas bantalan, dengan dasar bahwa tekanan permukaan bantalan dan kecepatan journal berputar berbanding lurus dengan volume keausan dimana :

$$P = \frac{F}{A} \quad (F = \text{gaya yang bekerja dan } A = \text{luasan kontak})$$

Faktor kekuatan bantalan yang didefinisikan sebagai PV sangat berpengaruh terhadap keausan bahan bantalan dimana apabila PV naik maka nilai h sebagai keausan radial akan meningkat.

4. Kekuatan bahan bantalan luncur sebagai kekerasan bantalan '' H '' mempengaruhi keausan bantalan dimana semakin tinggi kekerasan bahan bantalan maka volume keausan akan semakin kecil. Kekerasan bahan bantalan harus lebih rendah dari kekerasan bahan *journal* yang tidak boleh melebihi sepertiga kekerasan bahan *journal*nya. Kekuatan bahan bantalan luncur diperlukan untuk menopang gaya yang

bekerja diatas permukaannya, sehingga diperluka suatu sifat mekanik bahan bantalan luncur yang baik. Keausan pada *journal bearing* dipengaruhi oleh kekerasan bahan bantalan luncurnya, jarak, dan gaya yang bekerja.

5. Keausan bantalan luncur cenderung merupakan keausan radial, dimana keausan tidak merata pada seluruh permukaan bantalan akibat adanya *eksentricty* poros dan jarak kerenggangan bantalan, sehingga jarak kerenggangan merupakan faktor penting. Pada *journal bearing* keausan tidaklah selalu volumetrik namun terjadi keausan radial sebagai suatu kedalaman keausan oleh *asperity* poros. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi dan konstruksi bantalan luncur, dimana terdapat jarak atau kelonggaran antara poros dan bantalannya, serta faktor kecepatan kerja dan kondisi berhenti maupun awal operasi. Sehingga keausan akan berada pada tempat yang sama pada suatu titik tertentu dari kedudukan porosnya.

Kelonggaran antara journal dengan bantalan merupakan variabel yang menjadikan volume keausan meningkat apabila kelonggaran "C" semakin besar, kelonggaran dan tekanan kerja bantalan dinyatakan sebagai bilangan Sommerfeld yang berhubungan dengan variabel h_0/C atau perbandingan ketebalan pelumas dengan kelonggaran bantalan seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Semakin tinggi bilanga Sommerfeld maka parameter h_0/C akan semakin besar dengan berdasar perbandingan L/d nya.

6. Waktu berjalannya sistem "t" *journal bearing* menentukan volume keausan bantalan dimana semakin besar "t" maka kesempatan terjadinya keausan bahan bantalan akan semakin besar yang merupakan variabel linier terhadap "V".
7. Koefisien keausan "k" sebagai probabilitas pertemuan antar puncak *asperity* untuk menghasilkan produk keausan merupakan variabel linier, dimana semakin besar nilai "k", maka volume keausan akan meningkat. Variabel k sangat bergantung nilainya pada kontak dan bahan yang saling kontak.
8. Viskositas pelumas "v" pada sistem *journal bearing* berpengaruh terhadap keausan bahan bantalan, dimana semakin tinggi viskositas pelumas gaya yang dapat ditahan oleh bantalan semakin besar, karena mempunyai kekuatan geser yang besar pula sehingga kesempatan untuk gesekan antar *asperity* akan berkurang dan keausan akan menurun. Pelumas dengan viskositas yang lebih tinggi bisa menahan tekanan yang lebih besar tanpa menjadikan permukaan pelumasan oli berubah, pelumas dengan viskositas lebih rendah kurang tahan terhadap pergerakan peralatan dan permukaan

pelumasan oli mudah berubah. Viskositas berubah terhadap temperatur. Bila temperatur meningkat, viskositas cairan berkurang. Viskositas pelumas diperlukan untuk membuat efek *hidrodinamik lift* untuk memisahkan kedua permukaan, bila viskositas naik maka efek hidrodinamik lift akan naik, kontak menjadi kecil dan keausan akan berkurang. Pada pelumasan boundary bantalan luncur apabila viskositas pelumas dinamik " μ " naik maka viskositas pelumas, kecepatan dan gaya yang bekerja sebagai parameter

9. Kontak pelumasan pada sistem bantalan luncur mempengaruhi keausan bahan bantalan. Jenis kontak pelumasan boundary mempunyai konstanta keausan " ξ " yang lebih besar dari pada pelumasan batas maupun hidrodinamik seperti terlihat pada diagram Streiback. Konstanta " ξ " tak bersatuan yang berbanding linier terhadap volume keausan bantalan.
10. Bantalan luncur mempunyai batas pemakaian lapisan yang diijinkan, yang akan ditempuh lewat proses keausan bahan bantalan sampai batas pengantiannya.
11. Variabel ketebalan lapisan pelumas h_0/C_f linier terhadap viskositas pelumas pada bilangan Sommerfeld, sehingga semakin tinggi viskositasnya pelumas pada bantalan luncur maka keausan akan menurun. Kemampuan *journal bearing* dipengaruhi oleh kecepatan V , beban F , *clearance* C , *oil viscosity* ν , radius r , langkah L , *surface finish*, R_a dan tebal film pelumas h_{min} , sehingga apabila $C > R_a$. $C = h_0/C_f$. Ketebalan lapisan pelumas pada sistem bantalan luncur sangat berpengaruh sekali terhadap keausan bantalan dikarenakan fungsi pelumas pada sistem ini adalah sebagai pemisah antar dua permukaan yang bersentuhan. Ketebalan film pelumas akan meningkat dengan meningkatnya viskositas pelumas dengan menjaga kecepatan dan gaya yang konstan.

Kecepatan putar poros merupakan kecepatan sliding poros terhadap bantalannya yang diam, kecepatan ini memberikan volume maupun laju keausan yang berbanding lurus, disamping gaya atau beban yang bekerja pada sistem bantalan luncur. Pada pelumasan padat maupun cair menunjukkan peningkatan volume keausan dengan meningkatnya kecepatan sliding V dan beban F_n pada sistem bantalan luncur.

KESIMPULAN

Dari persamaan umur bantalan terlumasi tersebut terlihat bahwa ΔV merupakan variabel tetap bantalan dan merupakan setandar bantalan luncur yang juga tergantung dari jenis bahan dan penggunaannya. Variabel yang berubah adalah laju keausannya V_a yang mana bila V_a besar maka ''t'' akan menjadi kecil atau rendah dengan arti bahwa umur bantalan tersebut menjadi rendah. Variabel V_a sangat dipengaruhi oleh variabel F sebagai gaya yang bekerja pada permukaan bantalan, V sebagai kecepatan putar *journal*, L merupakan jarak tempuh *journal* yang berputar selama sistem bekerja, H sebagai sifat kekerasan bahan bantalan luncur dimana semakin keras akan memperkecil V_a , C merupakan jarak kelonggaran poros dengan bantalannya, dan '' ν '' sebagai viskositas pelumas kinematik yang akan mengisi celah antar bantalan dan journalnya. Viskositas ini apabila semakin kental maka V_a akan semakin kecil, variabel k sebagai konstanta keausan bahan yang merupakan konstanta kontak asperity permukaan bahan yang bergantung pada jenis bahannya, dimana semakin besar k maka nilai V_a akan semaki besar pula yang akan mempengaruhi umur bantalan.

Faktor koefisien kontak pelumasan ξ dimana variabel kontak pelumasan berdasar pada diagram Streiback, kontak pelumasan boundary mempunyai koefisien gesek dan keausan paling tinggi disusul kontak pelumasan batas kemudian kontak pelumasan hidrodinamik yang paling rendah nilai koefisien gesek dan keausannya. Koefisien kontak pelumasan ini terlihat mempengaruhi V_a .

Persamaan penentuan umur bantalan luncur terlumasi sebagai t tersebut merupakan pendekatan sederhana untuk mencari umur bantalan luncur berdasar keausan bahan yang terlumasi berdasar viskositas kinematik pelumasnya, yang dapat digunakan sebagi salah satu persamaan untuk menentukan umur bantalan luncur.

Kesimpulannya dengan melihat persamaan tersebut diatas apabila V_a semakin besar dengan ΔV yang akan selalu tetap maka waktu atau umur bantalan akan semakin pendek dan umur bantalan tersebut denga satuan detik yang dapat dikonversi ke hari dan tahun.

SARAN

Perlu dilakukan kajian umur bantalan dengan pendekatan bahwa keausan bantalan luncur adalah keausan radial '' h '' terhadap posisi journalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aravind Vadiraj, M.Kamaraj, VS Srenivasan, Effect of Solid Lubrication on Friction and Wear behavior of Alloyed gray Cast Iron, Sadana Vol 37, part 5, pp.569-577, 2012.
- Archad, Hand Book Wear Control Technology ASME, 1979.
- ASM Hand Book, Friction , Lubrication and Wear technology, Volume 18, 1992.
- Bernard Hamrock, Machine Design, Mc.GrawHill, Ohio, 2004.
- Frein.R.S, Boundary lubrication, Lubr. Eng.47.12, pp.1005-1008, 1991.
- Hari Aziz Ameen, Khairia Salman Hasan, Effect of load Sliding Speed and Time on Wear Rate for defferent Materials, American journal of Scientific and Industrial Research,ISSN 2153-649 X/ajsir.2011.2.99.106, 2011.
- J.K. Lancaster, Dry Bearing, A Survey Of Materials and Factor Affacting Their Performance, Desember 1973.
- J.K. Lancaster, Tribology Internasional, April 1979.
- Khonsani M.M, Booser E.R, Proper Film Thicness Key To Bearing Survival, Machine Design, Desember 2006.
- Lu Xi, Khonsani M.M, On The Lift off Speed In Journal Bearing, Tribology Latters, Vol 20, pp 299-305, 2005.
- Richard C Ericson, Tibology, The Science of Combating Wear, part 5. Battelle Columbus, Ohio, 1990.
- Robert L. Mott, Elemen-elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanisme 2, Edisi 4, 2009.
- T.A. Stolarski, Tibology in Machine design, Butterworth-Heinemann, 2000.
- Three Bound Co. LTD, Boundary Lubrication, 193-8533, Tokyo Japan, 1984.
- Miroslav Babic, Sliding Wear Behavior Of Zn-Al Alloys In Conditions Of Boundary Lubrication, The Annals Of University “Dunărea De Jos “ Of Galați Fascicle Viii, 2005, Issn 1221-4590.

PENULIS:

1. HASTA KUNTARA, ST., MT
Jurusan Teknik Mesin – STTNAS Yogyakarta
e-mail: abh5ta@gmail.com
2. SIGIT GUNAWAN, ST., MT
Jurusan Teknik Mesin – STTNAS Yogyakarta
e-mail: gunruscit@gmail.com
3. SIGIT BUDI HARTONO, ST., MT
Jurusan Teknik Mesin – STTNAS Yogyakarta
e-mail: s1g1t.budi@yahoo.co.id