

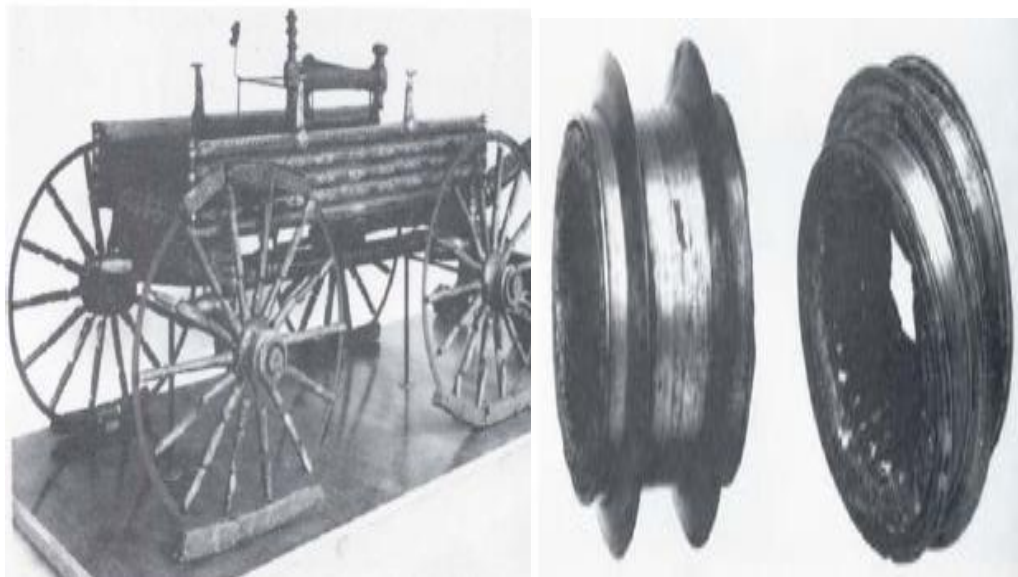
BAB II

DASAR TEORI

2.1 *Bearing*

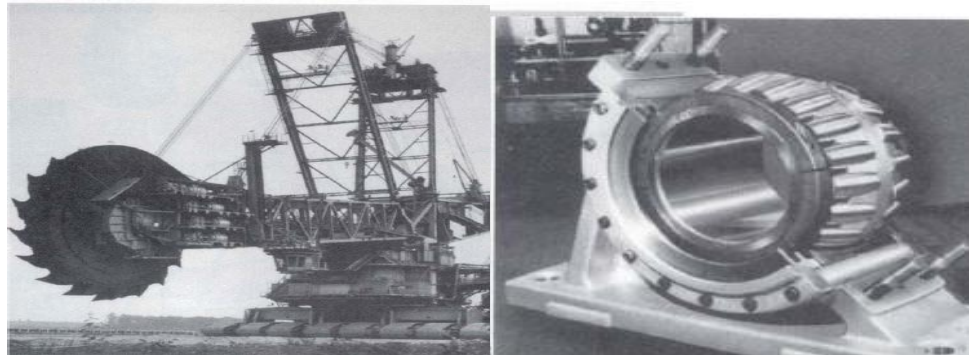
Bearing (bantalan) adalah elemen mesin yang menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan mempunyai umur yang panjang. *Bearing* harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya.

Sejarah penggunaan bantalan untuk mengurangi efek gesekan dapat ditelusuri dari hasil penemuan kereta sederhana yang telah berumur 5000 tahun di Euphrates didekat Sungai Tigris. Penggunaan bantalan yang lebih maju terlihat pada kereta Celtic sekitar 2000 tahun yang lalu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kereta ini menggunakan bantalan kayu dan pelumas dari lemak hewan [23].



Gambar 2.1 Kereta celtic dan *bearing* kayu yang digunakan pada kereta celtic [23]

Dalam sejarah modern, desain dan penggunaan *bearing* yang terdokumentasikan dengan baik dimulai oleh Leonardo Davinci [23]. Dia menggunakan *roller bearing* untuk kincir angin dan penggilingan gandum. Paten pertama tentang *bearing* didaftarkan di Perancis 400 tahun kemudian. Selanjutnya katalog bearing pertama di dunia diterbitkan di Inggris pada tahun 1900. Saat ini, penggunaan bearing sebagai komponen anti gesek telah digunakan secara luas dengan variasi ukuran, variasi beban, variasi putaran yang sangat lebar. Contoh penggunaan bantalan untuk peralatan berat dipertambangan ditunjukkan pada Gambar 2.2. Bantalan untuk peralatan ini haruslah mampu menahan beban yang sangat besar serta umur teknis yang lama [23].

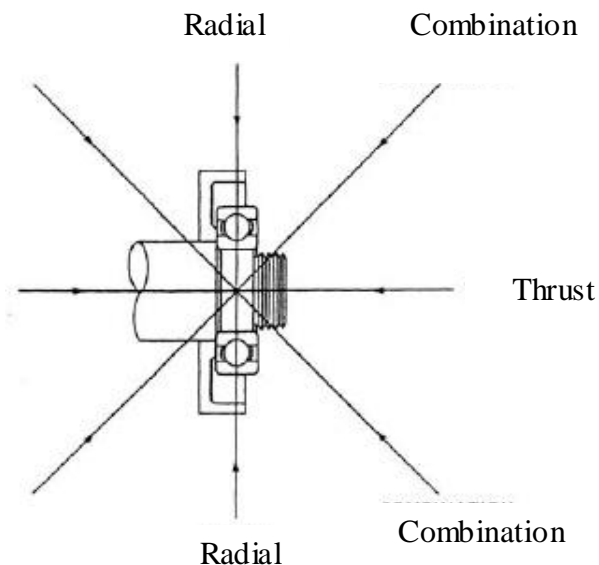


Gambar 2.2 Bucket wheel excavator dan jenis *bearing* yang digunakan pada excavator [23]

2.2 Klasifikasi *Bearing*

Secara umum *bearing* dapat diklasifikasikan berdasarkan arah beban dan berdasarkan konstruksi atau mekanismenya mengatasi gesekan. Berdasarkan arah beban yang bekerja pada bantalan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, *bearing* dapat diklasifikasikan menjadi :

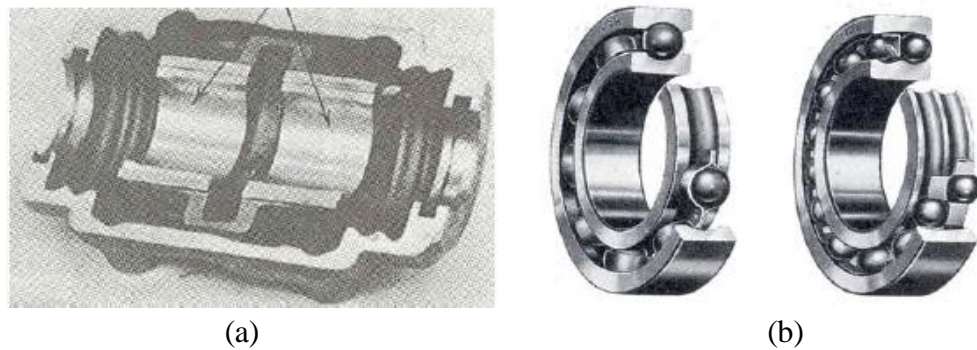
- Bantalan radial/*radial bearing*: menahan beban dalam arah radial
- Bantalan aksial/*thrust bearing*: menahan beban dalam arah aksial
- Bantalan yang mampu menahan kombinasi beban dalam arah radial dan arah aksial



Gambar 2.3 Arah beban pada *bearing* [23]

Berdasarkan konstruksi dan mekanisme mengatasi gesekan, bearing dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *slider bearing* (bantalan luncur) dan *roller bearing* (bantalan gelinding) [23].

- Bantalan luncur yang sering disebut *slider bearing* atau *plain bearing* menggunakan mekanisme *sliding*, dimana dua permukaan komponen mesin saling bergerak relatif. Diantara kedua permukaan terdapat pelumas sebagai agen utama untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan. *Slider bearing* untuk beban arah radial disebut *journal bearing* dan untuk beban arah aksial disebut *thrust bearing*. Contoh konstruksi bantalan luncur ditunjukkan pada Gambar 2.4(a).
- Bantalan gelinding menggunakan elemen *rolling* untuk mengatasi gesekan antara dua komponen yang bergerak. Diantara kedua permukaan ditempatkan elemen gelinding seperti misalnya bola, rol, taper dan lain lain. Kontak gelinding terjadi antara elemen ini dengan komponen lain yang berarti pada permukaan kontak tidak ada gerakan relatif. Contoh konstruksi *roller bearing* ditunjukkan pada Gambar 2.4(b).

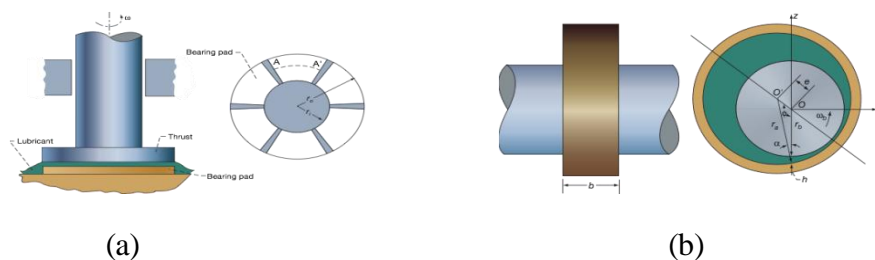


Gambar 2.4. Konstruksi *bearing* (a) *slider bearing* (b) *roller bearing* [23]

2.3 Slider Bearing (Bantalan Luncur)

Slider bearing memerlukan geseran langsung dari elemen yang membawa beban pada tumpuannya. Hal ini berbeda dengan *rolling-element bearings* dimana bola atau roller dipasang diantara dua permukaan geser. *Slider bearing* atau sering juga disebut *plain bearing* terdiri atas dua jenis seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5 yaitu:

- *Journal* atau *sleeve bearing*, yang bentuknya silindris dan menahan beban radial (yang tegak lurus terhadap sumbu poros).
- *Thrust bearing*, yang bentuknya biasanya datar, dimana pada kasus poros yang berputar, dapat menahan beban yang searah dengan sumbu poros.



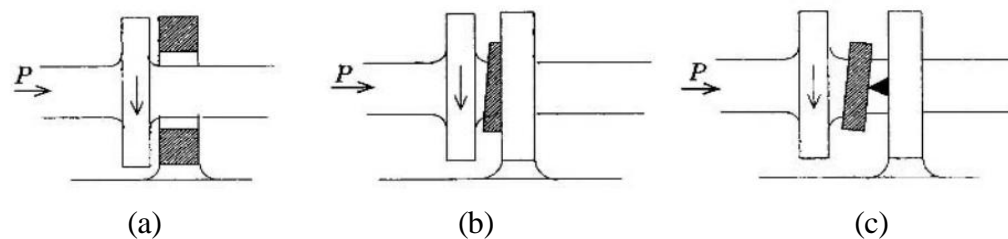
Gambar 2.5 *Slider bearing*, (a) *thrust bearing* (b) *journal bearing* [24]

Pada kasus poros yang berputar, bagian poros yang berkontak dengan bantalan disebut *journal*. Bagian yang datar pada bantalan yang melawan gaya aksial disebut *thrust surfaces*. *Bearing* ini sendiri dapat disatukan dengan rumah atau *crankcase*. Tetapi

biasanya berupa *shell* tipis yang dapat diganti dengan mudah dan yang menyediakan permukaan bantalan yang terbuat dari material tertentu seperti babbrit atau *bronze*. Ketika proses bongkar pasang tidak memerlukan pemisahan bantalan, bagian tertentu pada bantalan dapat dibuat sebagai sebuah dinding silindris yang ditekan pada lubang di rumah bantalan. Bagian bantalan ini disebut sebagai *bushing*.

Pada awalnya, *thrust bearing* hanya terdiri dari plat yang berputar terhadap poros dan plat yang diam seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6(a). karena plat ini sejajar satu sama lain maka lapisan film tidak terbentuk diantaranya, maka tidak menimbulkan *load support*. Oleh karena itu apabila berputar akan terjadi keausan. Ini menjadi masalah besar untuk *bearing* yang digunakan pada baling-baling kapal atau bearing vertikal untuk turbin air.

Salah satu usaha untuk mengatasi masalah ini adalah membentuk lapisan film buatan antara plat yang berputar terhadap poros dan plat yang diam seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6(b). hal ini awalnya adalah ide yang baik, tapi karena sudut kemiringan yang optimal sangat kecil sehingga sulit untuk mendapatkan ketepatan yang baik bahkan kecenderungan bisa berubah karena deformasi plastis. Sebuah solusi untuk masalah ini ditemukan secara independen oleh Michell [25-26] dan Kingsbury[27] yaitu untuk mendukung plat miring pada titik tertentu dari titik pusat sehingga dapat dimiringkan dengan bebas seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6(c). Pendekatan ini adalah desain pertama untuk *thrust bearing*. Hal ini juga digunakan untuk pengembangan penelitian teori pelumasan.



Gambar 2.6 Perkembangan *thrust bearing* (a) *parallel plat* (b) *fixed inclined pad* (c) *tilting pad* [3]

2.4 Sistem Pelumasan

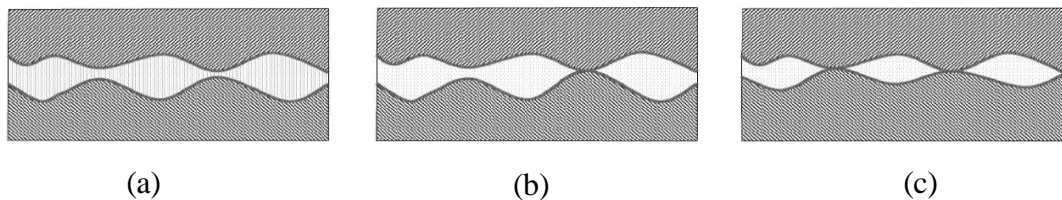
Film pada pelumas harus memenuhi dua syarat. Pertama, pelumas harus memiliki kekuatan geser yang rendah untuk memperoleh gesekan yang rendah. Kedua, pelumas harus cukup kuat untuk menahan semua beban pada arah normal (tegak lurus) terhadap permukaan. Kebanyakan pelumas yang digunakan adalah fluida cair walaupun fluida gas atau bahkan solid sekalipun juga memungkinkan untuk dijadikan pelumas pada kondisi tertentu. Contoh pelumas cair, seperti oli, *synthetic esters*, *silicon fluid* dan air. Materi padat seperti *graphite*, *molybdenum disulfide* (Moly) dan PTFE (*Polytetraflouroethylene*) digunakan secara luas jika pelumas biasa tidak memiliki kemampuan menahan beban dan suhu yang ekstrim. Beberapa puluh tahun terakhir ini juga dikenal jenis pelumas baru yang disebut pelumas sol (*sol-lube*). Pelumas ini merupakan koloid, yaitu suspensi pelumas padat dalam pelumas cair.

Terdapat dua jenis utama dari pelumasan film fluida, yaitu *hydrodynamic lubrication* (HL) dan *boundary lubrication* (BL). Pada pelumasan hidrodinamika, celah antara permukaan berbentuk sempit, *converging wedge*, sehingga gerak relatif permukaan tersebut menyebabkan pelumas mengikuti kontak, pelumas mendapatkan tekanan sehingga mampu menahan beban. Ketebalan film tergantung pada bentuk permukaan, kecepatan relatifnya, dan sifat dari pelumas. Pada umumnya, ketebalan film berskala mikrometer, dapat mendukung tekanan berskala Mega Pascal. Tekanan ini tidak cukup tinggi untuk secara nyata mendeformasi permukaan yang bergesekan, juga tidak untuk meningkatkan viskositas pelumas.

Keberadaan film pelumas awalnya dimulai dengan eksperimen klasik dari Tower [6], yang menghasilkan kesimpulan yang sama dari pengukuran gesekan. Kemudian hasil eskperimennya direspon oleh Reynolds [6] pada 1886, mengembangkan teori yang menjelaskan pembentukan film fluida. Tower menyederhanakan persamaan Navier-Stokes(NS), mengasumsikan ketebalan film yang tipis relatif terhadap panjang kontak, tekanan yang seragam sepanjang ketebalan film, dan pengaruh batas viskositas. Persamaan dapat diperoleh terkait pada tekanan fluida terhadap tingkat celah konvergensi, kecepatan permukaan dan viskositas pelumas. Hal ini dikenal sebagai Persamaan Reynolds. Banyak

penelitian numerik pada HL menggunakan persamaan Reynolds dan metode beda hingga, walaupun saat ini, beberapa penelitian menyelesaikan menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

Teori tentang *boundary lubrication* dikenalkan oleh Hardy Doubleday [3] pada tahun 1920-an. Mereka menemukan bahwa ketebalan film melekat pada permukaan yang mengalami kontak *sliding*. *Boundary lubrication* merupakan lawan dari *hydrodynamic lubrication*. Kemudian pada tahun 1970-an dikenalkan kombinasi antara *hydrodynamic lubrication* dan *boundary lubrication*. Rezim ini dikenal dengan *mixed lubrication*. Pada rezim ini hanya beberapa *asperities* yang akan saling kontak. Untuk melihat perbedaan antara tiga rezim pelumasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Jenis-jenis rezim pelumasan (a) *Hydrodynamic lubrication*, (b) *Mixed Lubrication*, (c) *Boundary Lubrication* [25]

Ketika kecepatan *sliding* tinggi, karena efek hidrodinamika dua permukaan akan terpisah oleh pelumas. Pada kondisi ini tekanan fluida pada kontak dapat memisahkan kedua permukaan. Pelumasan ini biasa dikenal dengan rezim *hydrodynamic lubrication*. Ketika kecepatan mulai berkurang, tekanan fluida pada kontak akan ikut berkurang dan sebagai akibatnya *asperities* dari kedua permukaan akan mulai menyentuh satu sama lain dan beban yang dibawa oleh *asperities* akan meningkatkan gesekan. Pada kondisi ini gesekan dihasilkan dari tegangan geser yang beraksi antar *asperities*. Hal ini merupakan rezim transisi yang dikenal dengan *mixed lubrication*. Dengan berkurangnya kecepatan lebih lanjut, tekanan dari pelumas pada kontak menjadi sama dengan tekanan lingkungan dan hasilnya seluruh permukaan kontak akan menyentuh. Beban normal seluruhnya

akandibawa oleh interaksi antar permukaan. Rezim ini dikenal dengan *boundary lubrication* [28].

2.5 Fenomena Slip

Kondisi no-slip sering diasumsikan secara umum sebagai kondisi batas pada interaksi solid dengan *liquid*. Hal ini menyatakan bahwa fluida yang berbatasan memiliki kecepatan relatif yang sama terhadap permukaan solid. Persamaan Reynolds telah dikembangkan pada 1886. Berdasarkan pada kondisi batas no-slip, penemuan tentang teori mekanisme pelumasan adalah suatu yang sangat penting. Disamping kondisi no-slip, salah satu konsep penting dari teori Reynolds adalah geometri yang konvergen pada *viscous fluid film* [29]. Untuk kebanyakan aplikasi, kondisi batas no-slip adalah baik untuk memprediksikan kelakuan fluida. Akan tetapi keberadaan kondisi batas no-slip, cukup diperdebatkan secara luas selama abad 19 dan awal abad 20 oleh beberapa pemikiran ilmuwan terbaik pada waktu itu. Pada akhirnya, implementasi ini terjawabkan dengan adanya beberapa eksperimen. Hal ini menjadi penyebab bahwa kondisi batas no-slip tidak lagi menjadi pendekatan yang sering dipakai karena sejumlah peneliti telah menemukan beberapa fakta dari slip pada *interface* antara fluida dan solid. Permodelan Slip terdiri atas dua yaitu:

a. *Slip length model*

Slip length model merupakan kecepatan slip sebanding dengan laju geser *liquid* yang dievaluasi pada batasan antara *liquid* dan solid [15]. *Slip length model* menggunakan parameter panjang slip untuk memprediksi kecepatan slip yang ditulis sebagai berikut:

$$U_s = b \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.1)$$

dimana, U_s = kecepatan slip,

b = panjang slip,

$\frac{\partial u}{\partial z}$ = *local shear rate*.

Panjang slip diinterpretasikan sebagai jarak fiksi di bawah permukaan dimana kondisi no-slip dipenuhi. *Fluent* belum menyediakan fitur untuk pemodelan slip untuk liquid. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat UDF untuk model slip di atas yang dapat dilihat pada Lampiran B. *User-Defined Function* (UDF) merupakan fungsi yang berguna untuk menambah fitur dengan memasukkan suatu kode di *Fuent* sehingga dapat meningkatkan kemampuannya untuk menyelesaikan suatu pemodelan yang belum bisa diselesaikan dengan menggunakan fitur standar *Fluent*. Sebagai contoh, dengan menggunakan UDF dapat memasukkan suatu kondisi batas yang diinginkan, sifat material, dan rezim aliran, serta menentukan parameter model yang dimodifikasi (misalnya, DPM, multifase model), inisialisasi solusi, atau meningkatkan *post-processing* yang belum tersedia di dalam *Fluent*. UDF ditulis dalam bahasa pemrograman C menggunakan editor teks dan *file* sumber kode disimpan dengan ekstensi .c (misalnya, myudf.c).

b. *Critical shear stress*

Ketika pelumas memiliki tegangan geser kritis, contohnya fluida *viscoplastic*, atau pelumas bertekanan tinggi, slip akan terjadi pada kondisi batas antara fluida dan *solid* ketika tegangan geser dinding cukup tinggi. Kriteria *critical shear stress* merupakan perluasan dari bentuk *slip length model* [15]. Model slip yang digunakan dalam hal ini adalah sebagai berikut:

$$\tau_c = \tau_{co} + \frac{\mu}{b} U_s \quad (2.2)$$

dimana, τ_c = tegangan geser permukaan,

τ_{co} = tegangan geser kritis,

U_s = kecepatan slip,

b = panjang slip.

Pada model ini slip hanya terjadi ketika tegangan permukaan mencapai nilai kritisnya, τ_{co} . Dari persamaan (2.2), harga kecepatan slip naik secara *linear* dengan penambahan tegangan geser terhadap konstanta panjang slip, b . sebagai catatan bahwa pada persamaan (2.2), jika harga $\tau_{co} = 0$ maka persamaan akan menjadi persamaan *slip length model* [29].

2.6 Pelumasan Hidrodinamika

Persamaan Reynolds merupakan persamaan diferensial parsial orde dua dan solusi analitis biasanya tidak tersedia. Hampir semua solusi analitis dari *hydrodynamic lubrication* didasarkan pada penyederhanaan persamaan Reynolds aliran dua dimensi pada bidang x-y.

Choodan Spikes, 2007, [29] mempelajari sebuah bantalan beban rendah dan pengaruh kekasaran permukaan dan menyelidiki sifat *wetting* permukaan pada gesekan pada berbagai kecepatan *sliding*. Hal ini menunjukkan bahwa slip fluida dapat digunakan untuk mengurangi gesekan dalam *full film*, kondisi hidrodinamik.

Rahmani dkk, 2007, [30] mempelajari pengaruh variasi parameter geometris berbentuk *square-shaped dimples* pada karakteristik tribologi yaitu *load support*, *friction force* dan koefisien gesek pada *slider bearing parallel*. Hasilnya meningkatkan jumlah *dimple* tidak akan meningkatkan *load support* dan koefisien gesek dalam pelumasan hidrodinamik.

Sinanoglu dkk, 2009, [31] menggunakan permukaan poros berulir bertekstur untuk membandingkan hasil eksperimen. Mereka menyimpulkan bahwa *load support* meningkat secara signifikan dengan permukaan poros berulir jika dibandingkan dengan poros tidak bertekstur.

M.T. Fowell dkk, 2011, [32] meneliti pengaruh efektifitas tekstur poket untuk meningkatkan *load support* dan mengurangi *friction force* terhadap *infinite bearing*. Hasilnya adalah poket dapat meningkatkan *load support* dan mengurangi *friction force* tetapi banyaknya poket hanya sedikit berpengaruh pada *load support* dan *friction force*.

Beberapa penelitian besar dalam metode numerik pada pelumasan telah dihasilkan sampai akhir dekade ini. Namun demikian, belum ada peneliti yang mengkombinasikan efek slip dan *surface texturing* dalam *hydrodynamic lubrication* pada *slider bearing* dengan menggunakan fluida *Newtonian* dan menggunakan aliran fluida 2 dimensi. Oleh karena itu kombinasi tersebut mungkin akan memberikan kontribusi untuk pengetahuan baru selanjutnya.