

**ANALISIS PENGARUH BENTUK TEKSTUR TERHADAP PERFORMA
PELUMASAN *HYDRODYNAMIC THRUST BEARING* BERTEKSTUR
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

Tugas Akhir

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat
Memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Mesin



Diajukan oleh:

NAMA : NAVIS RIZQI

NIM : 163010060

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TAKNIK
UNIVERSITAS WAHID HASYIM SEMARANG**

2020



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PENGARUH BENTUK TEKSTUR TERHADAP PERFORMA
PELUMASAN *HYDRODYNAMIC THRUST BEARING* BERTEKSTUR
MENGUNAKAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS***

Telah diperiksa, disetujui untuk dipertahankan di hadapan Dewan Penguji Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang

Pada :
Hari : Sabtu
Tanggal : 15 Agustus 2020

Pembimbing I

Imam Syafa'at, ST., MT.
NIDN 0026077501

Pembimbing II

Muchammad, ST., MT.
NIDN 0005037304



FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PENGESAHAN UJIAN/REVISI

Nama: Mahasiswa : Navis Rizqi
NIM : 163010060
Judul TA : Analisis Pengaruh Bentuk Tekstur Terhadap
Performa Pelumasan Hydrodynamic Thrust
Bearing Bertekstur Menggunakan Metode
Computational Fluid Dynamics

Telah dipertahankan dan direvisi di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Jurusan
Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang

1. Penguji 1

Nama : Imam Syafa'at, ST., MT.
Tanggal Pengesahan : 24-9-2020

Tanda Tangan : 

2. Penguji 2

Nama : Darmanto, ST., M.Eng.
Tanggal Pengesahan : 22-9-2020

Tanda Tangan : 

3. Penguji 3

Nama : Agung Nugroho, ST., MT.
Tanggal Pengesahan : 28-09-2020

Tanda Tangan : 

Semarang, 28-09-2020

Mengetahui
Ketua Jurusan





FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS WAHID HASYIM

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Navis Rizqi
NIM : 163010060
Jurusan : Teknik Mesin

Menyatakan bahwa tugas akhir ini tidak merupakan jiplakan dan juga bukan dari karya orang lain.

Semarang, Agustus 2020

Yang Menyatakan

Navis Rizqi

HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN

Moto

“Ora usah mikir sesuk, sesuk bakal teko dewe” KH. Anwar Manshur Lirboyo

“Ojo kalah karo barang mati” KH. Sodikin Sapari

Persembahan

Tugas Akhir ini dipersembahkan untuk:

1. Untuk yang selalu menaruh harapan dan doa-doanya ibu saya tercinta dan almarhum ayah saya. Semoga kemanfaatan dari tulisan ini bisa menjadi pahala untuk kedua orang tua saya. Amin
2. Untuk kakak-kakak saya yang selalu memberikan dukungan moril dan materil sehingga penulis bisa menyelesaikan tulisan ini dengan lancar.
3. Untuk teman-teman Teknik Mesin 16, yang sudah menemani proses belajar selama 4 tahun

ABSTRAK

Tujuan dasar tribologi adalah mengontrol gesekan, mengurangi keausan, dan meningkatkan pelumasan. Saat ini telah banyak upaya yang dilakukan untuk meningkatkan performa pelumasan. Diantara bentuk upaya tersebut adalah membuat sebuah tekstur pada permukaan bearing. Tekstur permukaan dianggap sebagai metode tribologis yang efektif untuk menurunkan koefisien gesekan pasangan kontak. Performa pelumasan dapat ditingkatkan lagi dengan cara memberikan kondisi *slip*. Tekstur berbentuk kotak, lingkaran, segitiga *inlet* dan segitiga *outlet* pada kondisi *slip* dan *noslip* dibandingkan dalam penelitian ini. Masing-masing bentuk tekstur dianalisis pada variasi bilangan Reynolds sebesar 0,028 dan 0,28 dengan mempertimbangkan kavitas. Permodelan penelitian ini menggunakan perangkat lunak CFD berupa ANSYS Workbench 16.0. Hasil permodelan menunjukkan tekanan hidrodinamik maksimum tertinggi terjadi pada bentuk tekstur segitiga *inlet*, sedangkan tekanan hidrodinamik terendah terjadi pada bentuk tekstur kotak. Kondisi *slip* memberikan pengaruh terhadap nilai *load support* yang terjadi. Selain itu, kondisi *slip* juga mampu mengurangi gesekan pada *bearing*. Nilai *friction force* dipengaruhi oleh kecepatan *sliding*. Semakin rendah kecepatan *sliding* maka gesekan yang terjadi akan semakin rendah.

Kata Kunci: *bearing*, pelumasan, *slip*, tekstur

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr Wb

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya, sholawat dan salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi kita Nabi Muhammad SAW.

Tugas akhir yang berjudul “ **Analisis Pengaruh Bentuk Tekstur Terhadap Performa Pelumasan *Hydrodynamic Thrust Bearing* Bertekstur Menggunakan Metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*)**” merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa untuk meraih gelar sarjana (S1) di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Wahid Hasyim Semarang. Penulis menyadari penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan dari banyak pihak. Dengan hati yang tulus pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Imam Syafa'at, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing yang memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muchammad, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing kedua yang memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Agung Nugroho, S.T., M.T. selaku koordinator Tugas Akhir yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis dari sebelum hingga selama Tugas Akhir.
4. Ibu dan kakak-kak saya tercinta yang selalu memberikan doa dan dukungan, sehingga penulis masih bisa belajar sampai sekarang.
5. Teman-teman Teknik Mesin Universitas Wahid Hasyim Semarang angkatan 2016 yang telah memberikan motivasi dan semangat selama pelaksanaan dan penyusunan laporan kerja praktik ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai

hasil yang lebih baik. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk semua.

Semarang, Agustus 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'D. M. R.', is placed on a light blue rectangular background.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN/ REVISI.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI.....	4
II.1 Tinjauan Pustaka	4
II.2 Landasan Teori	5
II.2.1 <i>Bearing</i>	5
II.2.2 <i>Sliding Contact Bearing</i> (Bantalan Kontak Geser)	8
II.2.3 <i>Rolling Contact Bearing</i> (Bantalan Kontak Bergulir)	10
II.2.4 Pelumasan <i>Bearing</i>	13
II.2.5 <i>Surface Texture Bearing</i>	16
II.2.6 Kondisi <i>Slip/No Slip</i>	17
II.2.7 Kavitasi Pada <i>Bearing</i>	18
II.2.8 <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD).....	20
BAB III METODE PENELITIAN	23
III.1 Pemodelan Menggunakan <i>Software ANSYS 16.0</i>	23

III.2 Pendefinisian Masalah	25
III.3 Validasi Permodelan	26
III.4 Proses Simulasi	26
III.4.1 Pembuatan geometri	26
III.4.2 Meshing	29
III.4.3 Pendefinisian Material.....	32
III.5 Pendefinisian Kondisi Batas	33
III.6 Penentuan <i>Solution Methods, Solution Controls, dan Monitors</i>	36
III.7 <i>Post-Processing</i>	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
IV.1 Proses Validasi	39
IV.2 Hasil Simulasi.....	40
IV.2.1 Permodelan Tekstur Bentuk Kotak.....	40
IV.2.2 Permodelan Tekstur Bentuk Lingkaran	42
IV.2.3 Permodelan Tekstur Bentuk Segitiga <i>Outlet</i>	43
IV.2.4 Permodelan Tekstur Bentuk Segitiga <i>Inlet</i>	45
IV.3 Pengaruh Variasi Kondisi <i>No Slip</i> dan <i>Slip</i>.....	46
IV.4 Pengaruh Terhadap <i>Load Carrying Capacity</i> dan <i>Friction Force</i>	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
V.1 Kesimpulan	51
V.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Perbandingan prioritas antara <i>sliding contact bearing</i> dan <i>rolling contact bearing</i> (Golenko, 2010)	8
Tabel III.1 Bentuk geometri <i>thrust bearing</i>	27
Tabel III.2 Detail pembuatan <i>grid</i>	30
Tabel III.3 Detail pembuatan <i>grid</i> kasus <i>no slip</i>	31
Tabel III.4 Detail pembuatan <i>grid</i> kasus <i>slip</i>	31
Tabel IV.1 Hasil <i>Load support</i> dan <i>friction force</i>	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Klasifikasi <i>bearing</i> (Childs, 2014).....	7
Gambar II.2 (a) <i>Sliding Contact Bearing</i> (b) <i>Rolling Contact Bearing</i> (Ramanamurthy dan Ramachandran, 2013).....	7
Gambar II.3 Bantalan <i>thrust bearing</i> (a) jenis <i>footstep</i> (b) jenis <i>coolar</i> (Bhandari, 2007).....	10
Gambar II.4 Bentuk struktur bantalan kontak bergulir (Schmid, dkk. 2014)	11
Gambar II.5 Hubungan kecepatan dan koefisien gesek terhadap jenis pelumasan (Ugural, 2015)	14
Gambar II.6 Proses pembentukan pelumasan hidrodinamis pada bantalan (Wei Jiang, 2019)	15
Gambar II.7 Prinsip pelumasan hidrostatik (Bhandari, 2010).....	16
Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar III.2 Blok geometri <i>meshing</i>	29
Gambar III.3 Tampilan <i>grid</i> setelah <i>refinement</i>	32
Gambar III.4 Tampilan Fluent dalam setup	33
Gambar III.5 Kondisi batas pada permodelan <i>thrust bearing</i>	34
Gambar III.6 Tampilan Fluent kondisi batas <i>movingwall</i>	35
Gambar III.7 Tampilan proses <i>input</i> UDF ke Fluent	35
Gambar III.8 Tampilan proses <i>input</i> UDF sebagai kondisi batas slip	36
Gambar III.9 Tampilan jendela <i>solution methods</i>	37
Gambar III.10 Tampilan <i>residual monitor</i>	37
Gambar III.11 Tampilan <i>solution initialization</i>	38
Gambar III.12 Tampilan <i>run calculation</i>	38
Gambar IV.1 Perbandingan hasil distribusi tekanan terhadap panjang <i>bearing</i> dengan nilai Re 0,28 pada kondisi <i>no slip</i>	39
Gambar IV.2 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk kotak terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>no slip</i>	40

Gambar IV.3 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk kotak terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>slip</i>	41
Gambar IV.4 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk lingkaran terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>no slip</i>	42
Gambar IV.5 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk lingkaran terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>slip</i>	43
Gambar IV.6 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk segitiga <i>outlet</i> terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>no slip</i>	44
Gambar IV.7 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk segitiga outlet terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>slip</i>	44
Gambar IV.8 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk segitiga <i>inlet</i> terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>no slip</i>	45
Gambar IV.9 Hasil distribusi tekanan tekstur bentuk segitiga <i>inlet</i> terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>slip</i>	46
Gambar IV.10 Hasil distribusi tekanan semua tekstur terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>no slip</i> dengan RE 0,028	47
Gambar IV.11 Hasil distribusi tekanan semua tekstur terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>slip</i> dengan RE 0,028	48
Gambar IV.12 Hasil distribusi tekanan semua tekstur terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>no slip</i> dengan RE 0,28	48
Gambar IV.13 Hasil distribusi tekanan semua tekstur terhadap panjang <i>bearing</i> pada kondisi <i>slip</i> dengan RE 0,28	49
Gambar IV.14 Perbandingan <i>load support</i> kondisi <i>no slip</i>	51
Gambar IV.15 Perbandingan <i>load support</i> kondisi <i>slip</i>	51

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Tujuan dasar tribologi adalah mengontrol gesekan, mengurangi keausan, dan meningkatkan pelumasan sebagai bentuk penghematan energi dan bahan (Zhang, 2013). Ilmu ini merupakan ilmu yang sangat penting. Hal ini dikarenakan gesekan selalu terjadi pada sebagian besar sistem mekanis, dan dapat memiliki pengaruh besar pada kinerja dinamis dan kondisi operasi. Oleh karena itu, gesekan sebisa mungkin terjadi sekecil mungkin.

Salah satu komponen peralatan atau mesin yang menggunakan sistem mekanis adalah bearing. *Bearing* atau bantalan digunakan untuk menerima beban dari sebuah poros sebagai tumpuan dan untuk mengurangi keausan dari benda yang berputar. Beban tersebut bisa berupa beban radial maupun beban aksial. Beban radial arah bebannya tegak lurus terhadap poros sedangkan beban aksial arah bebannya sepanjang sumbu rotasi poros.

Slider bearing adalah salah satu jenis *bearing* yang paling sering ditemui dalam desain sebuah konstruksi mesin. *Bearing* ini paling umum digunakan karena memiliki harga yang relatif murah, konstruksi yang sederhana dan mudah dalam pelumasannya (Sitepu, dkk., 2010). Keunggulan lain dari *bearing* ini adalah gesekan yang terjadi sangat rendah dan umur pemakaian yang lebih panjang jika dibandingkan dengan jenis *roller bearing*.

Saat ini telah banyak upaya yang dilakukan untuk meningkatkan performa pelumasan. Diantara bentuk upaya peningkatan performa tersebut adalah membuat sebuah tekstur atau *pocket* pada permukaan *bearing*. Tekstur permukaan dianggap sebagai salah satu metode tribologis yang efektif untuk menurunkan koefisien gesekan pasangan kontak (Qing, dkk., 2009). Selain itu hasil penelitian juga menunjukkan bahwa, menerapkan tekstur permukaan parsial (*partial texturing*) memiliki efek positif yang luar biasa pada karakteristik fungsional *bearing* yaitu berupa peningkatan daya dukung beban dan tekanan lapisan pelumasan (Hamdavi, dkk., 2016)

Performa pelumasan dapat ditingkatkan lagi dengan cara memberikan kondisi *slip*. Kondisi slip merupakan kondisi dimana kecepatan aliran pada dinding tidak bernilai nol. Penambahan kondisi *slip* dapat dilakukan dengan menambah komponen aditif pada oli atau menambah kekasaran pada permukaan (Muchammad, dkk., 2016). Aplikasi *slip* yang diterapkan pada *journal bearing* terbukti dapat meningkatkan kinerja *bearing* (Fortier dan Salant, 2005) Beberapa penelitian lain juga telah menunjukkan hasil yang positif dari pemberian kondisi *slip*, seperti penelitian Rao (2013) yang menyatakan bahwa *slip* dapat menghasilkan peningkatan substansional pada kapasitas beban dengan peningkatan wilayah tekstur.

Dalam sebuah studi tentang performa pelumasan penting rasanya untuk menghubungkan dengan fenomena kavitasi yang terjadi. Penelitian menggunakan model kavitasi dianggap sebagai cara untuk mendapatkan karakteristik yang lebih realistis dalam sebuah bearing (Muchammad, dkk., 2018).

Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan diteliti pengaruh beberapa bentuk tekstur dengan kondisi *slip/no slip* pada permukaan *bearing* terhadap performa *thrust bearing* dengan mempertimbangkan kavitasi yang terjadi didalamnya pada variasi kecepatan tertentu. Pemecahan masalah dilakukan dengan permodelan menggunakan metode volume hingga dengan bantuan *software* Ansys komersil.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh bentuk *single texture* dengan mempertimbangkan kondisi batas *slip* fenomena kavitasi terhadap performa pelumasan *thrust bearing*?
2. Bagaimana pengaruh beberapa bentuk *single texture* dan kondisi batas *slip* dengan mempertimbangkan fenomena kavitasi terhadap performa pelumasan *thrust bearing*?
3. Bagaimana pengaruh inersia terhadap performa pelumasan *thrust bearing*?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin diperoleh dalam Tugas Akhir ini diantaranya sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh bentuk *single texture* dengan mempertimbangkan kondisi batas *slip* serta fenomena kavitasi terhadap performa pelumasan *thrust bearing*.
2. Menganalisis pengaruh beberapa bentuk *single texture* dan kondisi batas *slip* dengan mempertimbangkan fenomena kavitasi terhadap performa pelumasan *thrust bearing*.
3. Menganalisis pengaruh inersia terhadap performa pelumasan *thrust bearing*.

I.4 Batasan Masalah

Mengingat luasnya ruang lingkup permasalahan penelitian dan dengan menyadari segala keterbatasan penulis, maka penulis melakukan pembatasan penelitian dengan ketentuan sebagai berikut.

1. Fluida yang digunakan merupakan fluida Newtonian dan *incompressible*.
2. Fluida diasumsikan dalam kondisi *steady*.
3. Kondisi batas *slip* dimodelkan menggunakan permodelan *Navier slip*.
4. Simulasi dilakukan pada pemodelan 2D *slider bearing*.
5. Model kavitasi yang digunakan adalah model Schnerr-Sauer.
6. Tidak membahas material yang digunakan.
7. Tidak membahas pengaruh perpindahan panas pada pelumasan.

I.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang didapat diharapkan memberi manfaat sebagai berikut.

1. Mampu memberikan pengetahuan dalam peningkatan performa pelumasan *thrust bearing*.
2. Mampu memberikan pengaturan variasi bentuk tekstur dan *slip* yang tepat untuk peningkatan performa *thrust bearing*.

DASAR TEORI

BAB II

II.1 Tinjauan Pustaka

Industri saat ini mengharuskan untuk mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang masa pakai komponen dalam rangka mengurangi biaya ekonomi dan lingkungan. Selama beberapa tahun terakhir, dalam industri *bearing* dilakukan beberapa inovasi yang bertujuan untuk meningkatkan performa *bearing*. Salah satu langkah dalam usaha peningkatan performa tersebut adalah dengan membuat tekstur dan melakukan konfigurasi *slip* pada *bearing*. Langkah ini terbukti dapat meningkatkan perilaku tribologis yang terjadi pada *bearing*.

Brizmer, dkk. (2003) melakukan penelitian tentang potensi penggunaan teknologi baru berupa *laser surface texturing* (LST) pada *thrust bearing* paralel secara teoritis untuk menentukan distribusi tekanan hidrodinamik pada satu bantalan tunggal. Penelitian ini membandingkan antara penggunaan *surface texture* penuh dengan *surface texture parsial*. Hasilnya untuk penggunaan *surface texture* penuh tidak berguna jika digunakan untuk mengembangkan kapasitas angkut beban besar. Namun, hal ini dapat bermanfaat dalam bantalan yang sangat pendek seperti *mechanical seal*. Sedangkan untuk *surface texture parsial* mampu meningkatkan daya dukung beban secara signifikan.

Salant, dkk. (2004) melakukan cara lain dalam peningkatan performa *bearing*. Dalam penelitiannya permukaan bantalan direkayasa khusus sehingga terjadi kondisi *slip/no slip*. Hasil penelitian dengan cara tersebut menunjukkan bahwa permukaan bantalan dengan kondisi *slip/no slip* dapat meningkatkan kinerja bantalan film cair. Permukaan seperti itu dapat menghasilkan peningkatan dukungan beban jauh lebih besar dari yang dihasilkan oleh bantalan konvensional dengan atau tanpa *recess*.

Bayada, dkk. (2008) mengidentifikasi pentingnya pemodelan teoritis kavitasi dalam analisis *slip/no slip* pada bantalan dengan mekanisme pelumas heterogen. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa batas-batas area kavitasi dan kapasitas pengangkutan beban juga sangat bergantung pada model kavitasi dan

pengaruh relatif dari efek geometris dan *slip/no slip*. Hal ini ditunjukkan dari adanya perbedaan penggunaan model kavitas yang efektif antara ketika kondisi *slip* dengan kondisi *no slip*.

Ketiga penelitian diatas membuktikan bahwa penggunaan *surface texture*, kondisi *slip/no slip* dan pemilihan model kavitas dapat mempengaruhi performa pelumasan pada bantalan. Dari ketiga jenis model dalam mempengaruhi performa bantalan tersebut kemudian Muchammad dkk. (2016) secara analitik mempelajari pengaruh *pocket* (tekstur) dan *boundary slip* terhadap daya dukung beban dan friksi pada *parallel slider bearing* dengan mempertimbangkan *slip* dan kavitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *pocket* dengan kondisi tanpa *slip* lebih mudah terjadi kavitas daripada *pocket* dengan kondisi *slip*. Ini terjadi karena dalam *pocket* dengan kondisi *slip*, aliran pelumas dalam *bearing* meningkat dan menyebabkan peningkatan performa *bearing*. Selain itu, kedalaman *pocket* juga mempengaruhi terjadinya kavitas. *Pocket* dengan kedalaman kecil cenderung mengalami kavitas daripada *pocket* dengan kedalaman besar.

II.2 Landasan Teori

II.2.1 *Bearing*

Bearing adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk memberikan posisi relatif dan kebebasan rotasi serta mentransmisikan beban antara dua bagian (Ugural, 2015). *Bearing* bertindak sebagai dukungan beban untuk anggota yang bergerak. *Bearing* biasanya diterapkan untuk mendukung beban pada poros dan beberapa fungsi lainnya.

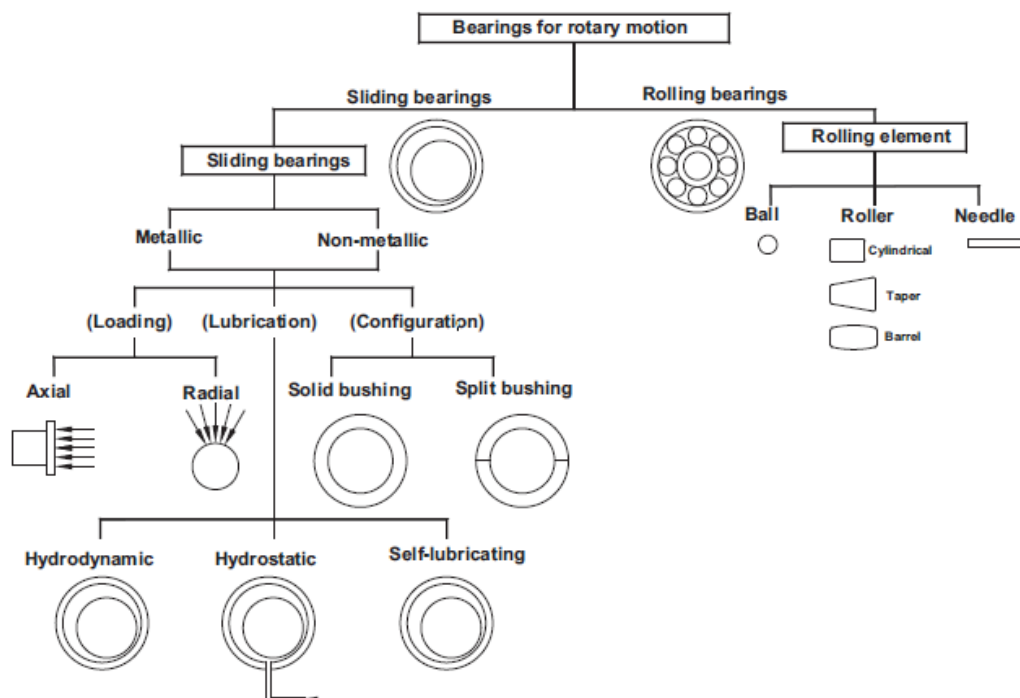
Secara umum *bearing* memiliki beberapa fungsi yaitu untuk memastikan gerakan rotasi poros bebas dengan gesekan semaksimal mungkin. *Bearing* akan menopang poros untuk mengambil gaya yang bekerja padanya dan mentransmisikannya ke *frame* atau pondasinya.

Bearing dan poros merupakan dua elemen mesin yang akan berhubungan satu sama lain. Dalam hubungannya sebagai pendukung beban permukaan *bearing* akan saling bersentuhan dengan permukaan poros dan menimbulkan suatu gerakan relatif. Gerakan relatif tersebut akan menghasilkan sebuah gesekan,

dimana gesekan merupakan sebuah kerugian yang harus dihindari dalam sebuah perancangan mesin.

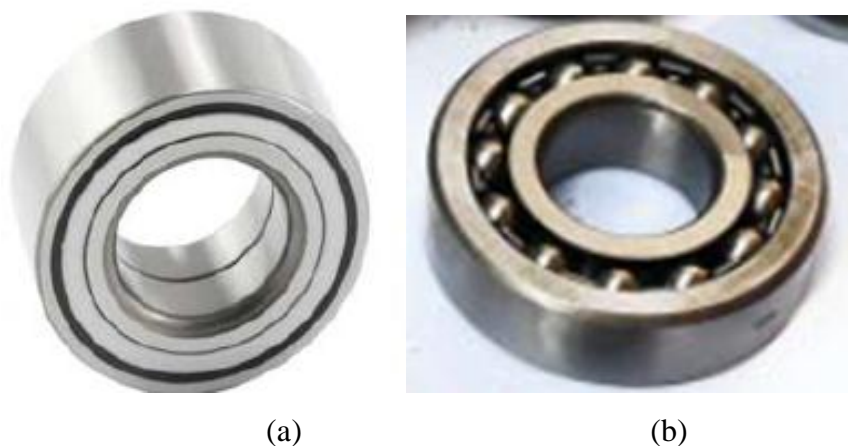
Sebagai salah satu bentuk usaha dalam mengurangi kerugian akibat gesekan tersebut maka sebuah perancangan poros dan *bearing* akan diberlakukan sistem pelumasan. Sistem pelumasan merupakan sistem pemberian cairan pelumas pada suatu komponen mesin dengan tujuan memberikan palapisan film serta memberikan tekanan pada kedua permukaan agar terpisah dan tidak bersentuhan secara langsung. Dengan adanya pelumas maka keausan akibat gesekan dua permukaan dapat dihindari dan bisa menambah umur penggunaannya.

Perancangan *bearing* dibuat berdasarkan pada kondisi kerja yang akan dilakukan dan karakteristik penggunaan tertentu seperti arah gerak, kecepatan poros dan daya tumpu bearing terhadap beban yang diterimanya. Perbedaan karakteristik penggunaan ini menjadikan antara *bearing* yang satu dengan yang lain akan memiliki fungsi dan tujuan penggunaan yang berbeda. Adapun klasifikasi *bearing* secara keseluruhan bisa dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Klasifikasi *bearing* (Childs, 2014)

Klasifikasi yang terpenting pada sebuah *bearing* adalah berdasarkan jenis gesekan antara permukaan bantalan dengan porosnya. Secara garis besar bearing diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu *sliding contact bearing* (bantalan geser) atau *sliding bearing* dan *rolling contact bearing* (bantalan gelinding) atau dikenal juga sebagai *roller bearing*. Kedua jenis *bearing* ini dibedakan menurut sifat kontak dan konstruksi bentuknya, sehingga dalam penggunaannya antara kedua jenis tersebut memiliki perbedaan. Klasifikasi lain dari *bearing* didasarkan pada arah bebanya yaitu arah aksial dan radial, proses pelumasannya, konfigurasi dan material yang digunakan baik dari logam maupun bukan logam. Untuk penjelasan tentang kedua jenis *bearing* tersebut akan dibahas di sub bab berikutnya, adapun perbedaan dalam segi bentuk keduanya dapat dilihat pada Gambar II.2.

Gambar II.2 (a) *Sliding Contact Bearing* (b) *Rolling Contact Bearing* (Ramanamurthy & Ramachandran, 2013)

Dalam beberapa kasus kedua jenis *bearing* akan melakukan hal yang sama baiknya, akan tetapi ada beberapa hal dimana penggunaan salah satu jenis *bearing* lebih diutamakan dibanding menggunakan jenis lainnya. Hal ini didasarkan pada perbedaan kemampuan yang dimiliki antara *roller bearing* dan *sliding bearing*. Dalam Tabel II.1 menampilkan jenis *bearing* dan prioritas penggunaannya untuk

memudahkan pemilihan jenis *bearing* berdasarkan kriteria kondisi kerjanya. Tanda (X) menunjukan prioritas jenis *bearing* yang harus digunakan.

Tabel II.1 Perbandingan prioritas antara *sliding contact bearing* dan *rolling contact bearing* (Golenko, 2010)

No	Kriteria	Roller Bearing	Sliding Bearing
1	Gesekan saat mulai	X	
2	Servis dan Pemeliharaan	X	
3	Kapasitas angkut beban		X
4	Tingkat Kebisingan		X
5	Beban Dinamis		X
6	Desain Terpisah		X
7	Standarisasi	X	
8	Kualitas Tinggi	X	
9	Kemudahan Penggantian	X	
10	Beban Dorong Tinggi		X
11	Kecepatan Ekstrem		X

II.2.2 *Sliding Contact Bearing* (Bantalan Kontak Geser)

Sliding Contact Bearing atau bantalan geser adalah bantalan dengan gaya geser terjadi di sepanjang permukaan antara elemen bergerak dan elemen tetap (Ramanamurthy & Ramachandran, 2013). *Bearing* ini biasa digunakan untuk aplikasi mesin dalam putaran tinggi dan beban yang berat seperti pada bantalan poros engkol dalam kendaraan, pompa sentrifugal, motor listrik ukuran besar, turbin uap dan gas, *mixer* beton serta instalasi kelautan.

Dibandingkan dengan *rolling contact bearing*, bantalan geser membutuhkan ruang radial yang lebih sedikit dan ruang aksial yang lebih besar. Meskipun bantalan geser mungkin memiliki lebih sedikit gesekan karena adanya pelumasan, saat kondisi diam lalu akan memulai putarannya, bantalan geser memiliki gesekan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan bantalan kontak bergulir. Selain itu, adanya sistem pelumasan bisa mengakibatkan kontak yang

terjadi menjadi tidak stabil ketika sedang dalam kondisi kerja dengan kecepatan tinggi (Jiang, 2019).

Pada bantalan geser umumnya hanya memiliki dua tipe yaitu:

1. *Journal Bearing*

Journal bearing adalah jenis bantalan geser yang gayanya berada di sepanjang lingkaran atau busur lingkaran dan membawa beban radial (Ramanamurthy & Ramachandran, 2013). Ada beberapa jenis *journal bearing* yaitu:

a. *Full Journal Bearing* (Bantalan Jurnal Penuh)

Full journal bearing adalah *journal bearing* yang memiliki sudut kontak antara bantalan dan jurnal sebesar 360° atau sudut penuh. Jenis bantalan ini biasanya digunakan pada mesin industri untuk mengakomodasi dalam menanggung beban ke segala arah radial.

b. *Partial Journal Bearing* (Bantalan Jurnal Parsial)

Ketika sudut kontak bantalan dengan jurnalnya sebesar 120° , maka bantalan disebut bantalan jurnal parsial. Jenis bantalan ini memiliki gesekan lebih sedikit jika dibandingkan dengan bantalan jurnal penuh. Jenis bantalan ini hanya dapat digunakan pada beban yang selalu dalam satu arah. *Full Journal* dan *Partial Journal* bantalan juga disebut sebagai *clearance bearing*. Hal ini disebabkan karena diameter dari jurnal kurang dari diameter bantalan.

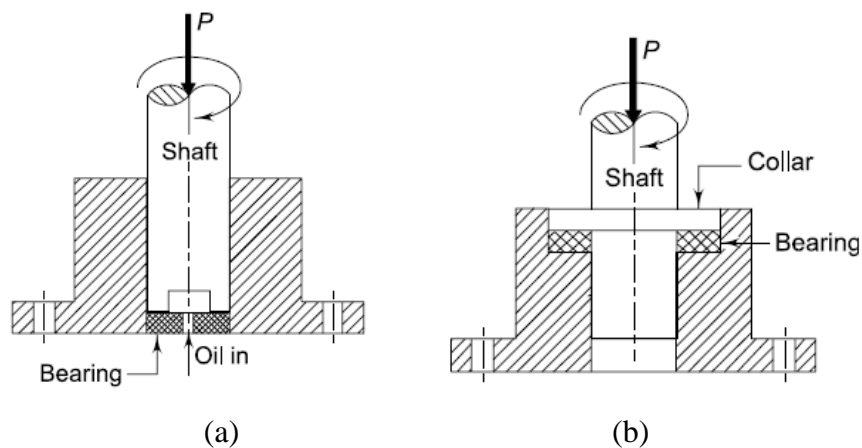
c. *Fitted Journal Bearing*

Fitted journal bearing adalah ketika bantalan jurnal parsial tidak memiliki jarak antara jurnal dengan bantalan. Dalam jenis bantalan ini, diameter jurnal dan diameter bantalan adalah sama.

2. *Thrust Bearing*

Thrust bearing adalah bantalan geser dengan dukungan bebannya berada di sepanjang sumbu rotasi dan bebannya berada pada arah aksial atau tegak lurus terhadap sumbu rotasi.

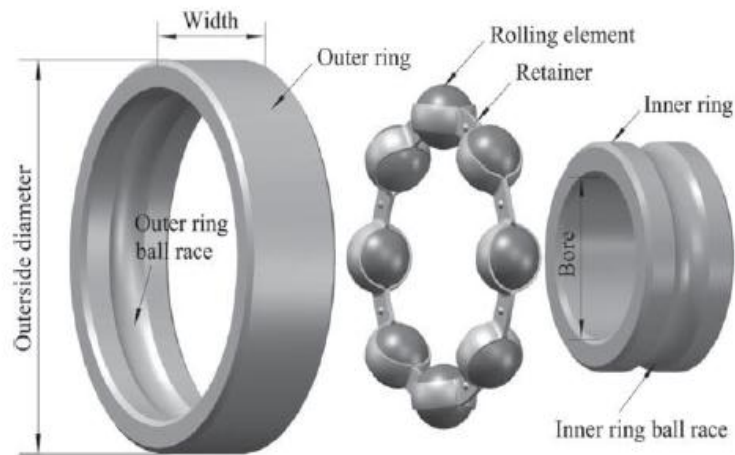
Terdapat dua jenis *thrust bearing* pada bantalan geser yaitu bantalan *footstep* dan *collar* (kerah) seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.3. Bantalan jenis *footstep* adalah bantalan dorong di mana ujung poros bersentuhan dengan permukaan bantalan. Sedangkan bantalan *collar* adalah bantalan dorong di mana kerah atau *collar* terpisahkan dengan poros yang bersentuhan dengan permukaan bantalan.



Gambar II.3 Bantalan *thrust bearing* (a) jenis *footstep* (b) jenis *collar* (Bhandari, 2007)

II.2.3 Rolling Contact Bearing (Bantalan Kontak Bergulir)

Istilah bantalan kontak bergulir merujuk pada berbagai macam bantalan yang menggunakan bola, profil bola, silinder atau beberapa jenis rol diantara elemen yang diam dan Bergeraknya. Dasar bentuk dan konsep bantalan elemen bergulir sederhana. Jika beban harus ditransmisikan antara permukaan dalam gerakan relatif, tindakan dapat difasilitasi dengan cara paling efektif jika elemen bergulir disisipkan di antara bagian-bagian geser. Adapun bentuk struktur bantalan kontak bergulir dapat dilihat pada Gambar III.4.



Gambar II.4 Bentuk struktur bantalan kontak bergulir (Schmid, dkk. 2014)

Bantalan kontak bergulir (bantalan bergulir) adalah elemen mesin standar yang banyak digunakan di berbagai mesin. Mereka mendukung poros putar sambil memungkinkan gerakan relatif antara dua elemen. Bantalan kontak bergulir memiliki gesekan operasi yang baik, dan ideal untuk aplikasi dengan beban awal yang tinggi, seperti pada kendaraan, kereta api, pesawat terbang, dan peralatan bergerak pada umumnya.

Dibandingkan dengan bantalan geser, bantalan kontak bergulir memerlukan pelumasan minimum dan ruang aksial lebih sedikit. Bantalan kontak bergulir juga memiliki efisiensi dan keandalan yang tinggi, dan persyaratan perawatan minimum. Selain itu, bantalan kontak bergulir dapat dimuat sebelumnya untuk menghilangkan jarak bebas internal, yang sangat penting untuk rotasi presisi tinggi dan umur lelah.

Bantalan kontak bergulir dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk elemen bergulir atau oleh beban yang dibawa oleh bantalan. Klasifikasi tersebut adalah sebagai berikut (Jiang, 2019):

a. Single-Row, Deep-Groove Ball Bearings

Single-Row, Deep-Groove Ball Bearings adalah bantalan kontak bergulir yang paling banyak digunakan karena dapat menopang beban radial dan beban aksial moderat di kedua arah. Selain itu bantalan ini juga beroperasi dengan lancar pada rentang kecepatan yang luas dan relatif murah.

b. Cylindrical Roller Bearings

Cylindrical roller bearings dirancang untuk aplikasi tugas berat. Pada bantalan ini kontak antara *roller* menghasilkan tekanan kontak yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bantalan bola berukuran setara. Berbeda dengan bantalan bola, daya dukung beban aksial dari bantalan silinder biasanya buruk. Dalam bantalan silinder, rol ditempatkan secara aksial dengan mengarah pada jalur bagian dalam, luar atau keduanya. Cincin dalam dan cincin luar biasanya dibuat terpisah secara aksial. Oleh karena itu, bantalan rol dapat dengan mudah mengakomodasi perpindahan aksial kecil dari poros relatif ke rumahannya karena ekspansi termal yang berbeda.

c. Needle Bearings

Needle bearing merupakan jenis bantalan khusus dari jenis bantalan rol silinder lain. Pada bantalan ini rol memiliki diameter yang jauh lebih kecil. Bantalan ini sering digunakan tanpa cincin bagian dalam, berjalan langsung di poros yang mengeras sehingga sangat berguna ketika digunakan dalam ruang radial terbatas dan pada kecepatan operasi rendah.

d. Angular Contact Bearings

Angular contact bearing biasanya digunakan berpasangan dengan *tapered roller bearing*. *Angular contact bearing* membawa beban radial dan beban aksial searah, sedangkan *tapered roller bearing* dirancang untuk mengambil beban radial yang substansial, beban aksial dan kombinasinya. Kedua bantalan menghasilkan beban dorong yang diinduksi rata. Bantalan ini biasanya digunakan berpasangan dalam posisi berlawanan.

e. Self-aligning bearings

Bantalan ini dibuat untuk mengkompensasi ketidakselarasan yang cukup besar antara poros dan rumahannya karena defleksi poros, ketidakakuratan pemasangan, atau penyebab lain yang biasa ditemui dalam perakitan atau dalam layanan.

II.2.4 Pelumasan *Bearing*

Analisis dan desain sebuah bantalan dibutuhkan pengetahuan yang substansial mengenai tribologi. Tribologi merupakan ilmu yang mempelajari gesekan, keausan, dan pelumasan. Sama seperti teori kekuatan, tribologi memainkan peran penting dalam kehidupan elemen mesin. Agar elemen mesin berfungsi dengan sukses, desain tidak hanya harus memenuhi persyaratan kekuatan dan kekakuan, tetapi juga tuntutan tribologis.

Salah satu elemen dalam tribologi adalah pelumasan. Pelumasan merupakan sebuah usaha yang dilakukan di antara dua padatan geser dengan menambahkan pelumas gas, cair, atau padat pada *sliding* antarmuka dalam rangka mengurangi gesekan dan keausan serta untuk membawa panas dan puing-puing yang dihasilkan selama proses geser. Fungsi lain pelumasan adalah untuk mencegah korosi dan mentransfer gaya atau energi, seperti yang terjadi pada sistem hidrolis. Sebagai tambahan, pelumas dapat bertindak sebagai kontaminan pada permukaan logam dan melapisi mereka dengan lapisan-lapisan molekul yang menghambat adhesi antar logam.

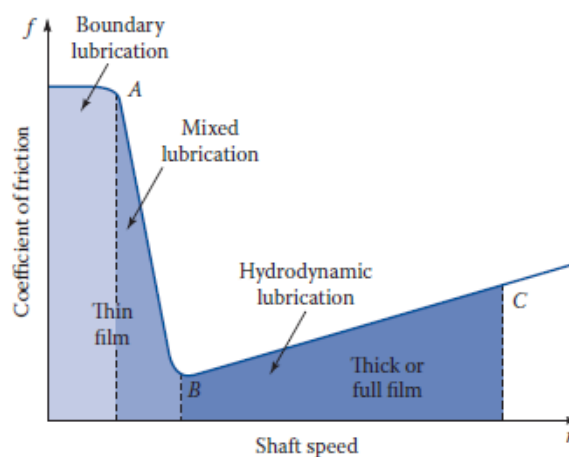
Proses pelumasan dapat dilakukan dalam berbagai bentuk, tergantung pada karakteristik antara penghubung yang saling berinteraksi. Karakteristik tersebut berupa kekasaran dan tekstur dari permukaan geser, beban kontak, tekanan dan suhu, kecepatan luncur dan geser, kondisi lingkungan kerja pelumasan, sifat fisik dan kimia pelumas, komposisi material, dan sifat-sifat lapisan dekat permukaan (ASM Handbook, 1992).

Kinerja bantalan tergantung pada jenis pelumasan yang terjadi dan viskositas pelumas. Viskositas adalah hambatan gesekan internal yang diberikan oleh fluida untuk mengubah bentuk atau gerakan relatif dari bagian-bagiannya (Bhandari, 2007). Viskositas sangat tergantung pada suhu, pelumas biasanya padat pada suhu 35 °C, akan setipis parafin pada 100 °C, dan terbakar jika di atas suhu 240° C. Selain itu terdapat juga zat tambahan yang digunakan sehingga bisa mempengaruhi kinerja pelumas. Zat tambahan digunakan agar membentuk lapisan kontaminan pada permukaan logam untuk melindungi dan mengurangi gesekan pada permukaan logam.

Dalam pelumasan bantalan pembagian jenisnya didasarkan pada tingkat ketebalan lapisannya. Secara garis besar terdapat dua jenis pelumasan yaitu pelumasan film tebal dan pelumasan film tipis. Selain itu ada istilah lain yaitu *zero film bearing* yang digunakan untuk bantalan yang beroperasi tanpa menggunakan pelumas.

Pelumasan film tipis (*thin film lubrication*) atau sering disebut *boundary lubrication* merupakan kondisi pelumasan di mana pelumas relatif tipis dan masih terdapat kontak antara bantalan dan porosnya. Jenis pelumasan ini dapat terlihat di engsel pintu dan alat mesin geser. Beberapa kondisi yang menggunakan jenis pelumasan ini adalah ketika beban yang berlebih, luas permukaan yang terlalu luas atau sebagai pasokan oli dan kondisi kecepatan rendah.

Sedangkan pelumasan film tebal (*thick film lubrication*) adalah kondisi pelumasan dengan film pelumas yang cukup tebal dan menjadikan permukaan bantalan sepenuhnya dipisahkan oleh pelumas. Jenis pelumasan ini sering digunakan untuk pelumasan dengan kondisi kecepatan tinggi. Secara umum hubungan kecepatan dan koefisien gesek terhadap jenis pelumasan bisa dilihat pada Gambar II.5.



Gambar II.5 Hubungan kecepatan dan koefisien gesek terhadap jenis pelumasan (Ugural, 2015)

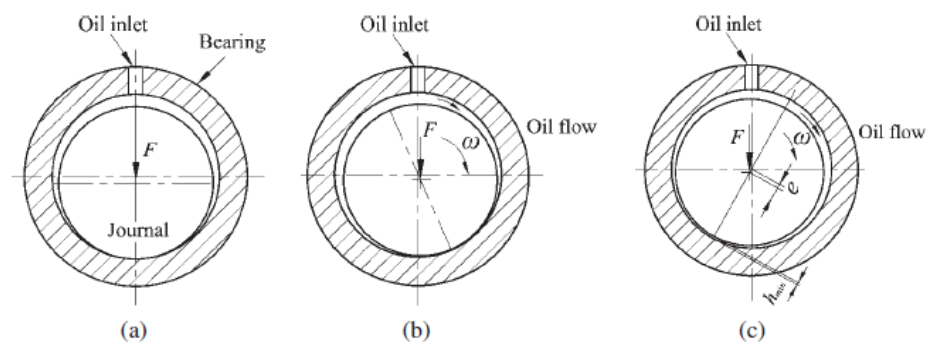
Dari Gambar II.5 dapat dilihat bahwa pelumasan film tipis cenderung digunakan dalam kondisi kerja dengan koefisien gesek tinggi dan kecepatan putar

porosnya rendah. Berbeda dengan pelumasan tipis untuk pelumasan film tebal digunakan ketika kondisi kerja dengan kecepatan poros tinggi dan koefisien gesek rendah.

Dalam pelumasan film tebal secara umum dibagi menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut:

II.2.4.1 Pelumasan Hidrodinamik

Pelumasan hidrodinamik didefinisikan sebagai sistem pelumasan di mana tekanan fluida dihasilkan oleh gerakan relatif yang berasal dari permukaan geser (Bhandari, 2010). Pada bantalan yang menggunakan pelumasan hidrodinamik, akan ada kontak antara permukaan poros dan bantalan ketika posisi diam atau sebelum kecepatan yang diperlukan untuk menghasilkan tekanan tercapai. Proses pembentukan pelumasan hidrodinamis pada bantalan dapat dilihat pada Gambar II.6.



Gambar II.6 Proses pembentukan pelumasan hidrodinamis pada bantalan (Wei Jiang, 2019)

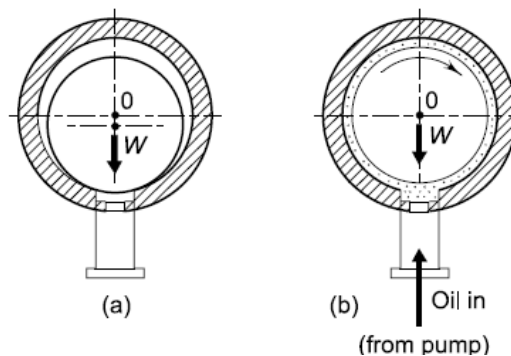
Pada saat poros diam (a) maka poros akan bergerak ke bawah ke arah pemuatan, untuk menekan film pelumas di bagian bawah dan kontak langsung dengan bantalan. Saat jurnal mulai berputar, ia naik ke permukaan bantalan (b) dan karena kecepatan semakin meningkat mengakibatkan tekanan fluida di dalam ruang antara bantalan dan poros (c). Tekanan yang meningkat secara bertahap memaksa poros untuk bergerak ke kiri, dan akhirnya diimbangi dengan beban radial yang diterapkan F .

Tekanan yang muncul pada poros dengan pelumasan hidrodinamis disebabkan karena permukaan bantalan menyatu dengan gerakan relatifnya dan viskositas fluida mengembangkan dan menjadikan film pelumas memisahkan antara poros dengan bantalan. Adanya tekanan ini menyiratkan bahwa beban yang diterapkan normal dapat didukung. Besarnya tekanan berkembang biasanya kurang dari 5 MPa.

II.2.4.2 Pelumasan Hidrostatik

Pelumasan hidrostatik didefinisikan sebagai sistem pelumasan di mana beban mendukung film fluida, memisahkan dua permukaan dibuat oleh sumber eksternal, seperti pompa (Bhandari, 2010). Bantalan ini sering disebut juga bantalan bertekanan eksternal karena pelumasnya disuplai menggunakan tekanan.

Prinsip pelumasan hidrostatik dapat dilihat pada Gambar II.7. Ketika tekanan belum diberikan ke bantalan maka poros akan menempel di permukaan bantalan. Kemudian saat pompa mulai, fluida tekanan tinggi akan diterima di ruang jarak antara poros dan bantalan yang memaksa permukaan bantalan dan poros terpisah. Bantalan dengan pelumasan hidrostatik digunakan pada generator turbo vertikal, sentrifugal dan *ball mill*.



Gambar II.7 Prinsip pelumasan hidrostatik (Bhandari, 2010)

II.2.5 Surface Texture Bearing

Surface texturing merupakan teknologi permukaan untuk membuat bentuk seperti lesung pipit yang berukuran mikro/nanometer pada permukaan halus dengan teknologi pemrosesan laser, teknologi etsa ion reaktif, teknologi pemesinan fotokimia dan sebagainya (Hao dkk., 2014). Teknologi ini banyak

digunakan pada permukaan yang bergesekan dengan permukaan lain seperti pada *mechanical seal, thrust bearing, journal bearing, ring piston* dan lain-lain.

Surface texturing secara efektif dapat meningkatkan kinerja tribologis dari permukaan yang saling bergesekan. Banyak penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan teknologi ini dapat meningkatkan daya dukung beban dan mengurangi gesekan hidrodinamik.

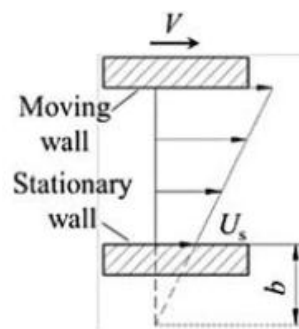
Dalam setiap kondisi pelumasan, *surface texturing* menghadirkan fungsi tribologis yang berbeda. Ketika kondisi pelumasan hidrodinamik, tekstur pada permukaan bekerja sebagai irisan konvergensi kecil, yang menghasilkan tekanan hidrodinamik tambahan untuk meningkatkan kapasitas angkut muatan total. Sedangkan dalam pelumasan *boundary lubrication* atau pelumasan campuran, tekstur berfungsi untuk mempertahankan keberadaan pelumas *oil film*. Adapun di bawah kondisi gesekan kering, tekstur dapat menjebak puing-puing aus untuk mencegah keausan abrasif lebih lanjut (Hao, dkk. 2014).

II.2.6 Kondisi Slip/No Slip

Kondisi batas antara fluida dan permukaan padat adalah kondisi batas *no-slip*. Kondisi batas ini menyatakan bahwa tidak ada kecepatan relatif antara fluida dan permukaan, yaitu, jika permukaan padat diam, fluida yang berbatasan langsung dengan permukaan juga diam atau memiliki kecepatan nol, sedangkan jika permukaan bergerak, fluida yang berbatasan langsung memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan permukaannya (Salant dan Fortier, 2004)

Kondisi *slip* diasumsikan terjadi ketika tegangan geser kritis terlampaui dan mengikuti hubungan Navier. Ada tiga mekanisme yang mengarah pada keberadaan *slip* (Muchammad dkk., 2016). Pertama, *slip* muncul karena efek pembasahan dan energi permukaan. Kedua, *slip* terjadi karena topografi permukaan, yaitu kekasaran rendah. Sehingga terdapat penelitian yang menyatakan bahwa dengan pola permukaan yang tepat bisa menghasilkan tegangan geser kritis nol, peningkatan daya dukung beban dan penurunan gesekan dapat dicapai. Ketiga, *slip* dapat terjadi dengan menambahkan komponen (aditif) ke pelumas untuk menghasilkan *slip* dinding.

Salah satu jenis *slip* adalah *slip length condition* atau *slip* dinding. Kondisi *slip* ini menyatakan bahwa kecepatan *slip* adalah sebanding dengan laju geser permukaan dan panjang *slip*. Dalam teori kondisi batas tegangan geser mengasumsikan bahwa tegangan geser batas pada antarmuka fluida padat dan *slip* dinding hanya terjadi ketika tegangan geser dinding mencapai nilai kritis. Sehingga dalam kondisi terjadi *slip*, tegangan geser permukaan sama dengan nilai kritisnya (lin dkk., 2013). Skema *slip* dinding dapat dilihat pada Gambar II.8.



Gambar II.8 Skema *slip* dinding (lin dkk., 2013)

Panjang *slip* didefinisikan sebagai jarak fiktif di bawah permukaan padat di mana kecepatan mengekstrapolasi secara linier ke nol. (U_s) adalah kecepatan *slip* (kecepatan pada antarmuka fluida padat dari daerah bertekstur/*slip*), (b) adalah panjang *slip*, (U) adalah laju geser permukaan dan (s) adalah tegangan geser dinding).

II.2.7 Kavitasi Pada *Bearing*

Kavitasi yang terjadi pada permukaan yang dilumasi dapat merusak dan bermanfaat bagi kinerja elemen-elemen mesin. Kavitasi yang merusak adalah ketika terjadi erosi kavitasi dan kerusakan film pelumasan pada bearing. Sedangkan efek bermanfaatnya adalah kavitasi dapat mengurangi koefisien gesekan dan meningkatkan kinerja *bearing*.

Kavitasi dalam film pelumasan dapat dikategorikan ke dalam dua bentuk dasar yang menyesuaikan dengan mekanismenya, yaitu mekanisme gas dan uap. Kavitasi uap adalah proses perubahan fasa yang terjadi ketika tekanan dalam pelumas jatuh atau turun ke tekanan uapnya, sedangkan kavitasi gas disebabkan

oleh emisi gas terlarut dalam pelumas yang terjadi ketika tekanan berkurang (Song dkk., 2015).

Dalam sebuah analisa karakteristik kinerja *bearing* sangat tergantung pada pemilihan model kavitasi dan kondisi batas terkait yang digunakan. Pemilihan model kavitasi yang salah bisa mengakibatkan terjadinya performa kerja *bearing*. Pada perangkat lunak ANSYS Workbench 16.0 terdapat beberapa macam model kavitasi yang bisa digunakan yaitu Singhal et al. Model, Zwart-Gerber-Belamri Model, Schnerr-Sauer Model (ANSYS Inc, 2013).

a. *Singhal et al. Model*

Model kavitasi ini didasarkan pada "model kavitasi penuh", yang dikembangkan oleh Singhal dkk. Model ini menjelaskan semua efek tingkat pertama yaitu perubahan fase, dinamika gelembung, fluktuasi tekanan turbulen dan *Noncondensable Gas* (NGC). Model ini mampu untuk menjelaskan aliran multifase, kecepatan *slip* antara cairan dan fase gas dan efek termal dan kompresibilitas fase cair dan gas. Kavitasi Model dapat digunakan dengan model campuran multifase, dengan atau tanpa kecepatan *slip*

b. *Zwart-Gerber-Belamri Model*

Model kavitasi ini dikembangkan oleh Zwart Gerber dan Belamri. Model ini berasumsi bahwa semua gelembung dalam suatu sistem memiliki ukuran yang sama. Zwart Gerber dan Belamri juga mengusulkan bahwa total laju perpindahan massa antar fase per satuan volume dihitung menggunakan gelembung angka kerapatan dan tingkat perubahan massa satu gelembung. Model ini didasarkan pada persamaan aliran multifase, dengan transfer massa karena kavitasi muncul sebagai istilah *source and term* dalam persamaan kontinuitas cairan dan uap. Kecepatan transfer massa berasal dari model Rayleigh-Plesset yang disederhanakan.

c. *Schnerr-Sauer Model*

Seperti sebelumnya nama model ini menggunakan nama penemunya yaitu Schnerr dan Sauer. Dalam model ini, satu-satunya parameter yang harus ditentukan adalah jumlah gelembung bola per volume cairan. Model ini berasumsi

bahwa ketika selama proses kavitasi tidak ada gelembung yang dibuat atau dihancurkan maka kepadatan jumlah gelembungnya akan konstan.

Model ini mengabaikan viskositas fluida untuk mendemonstrasikan dan menyelesaikan fenomena skala besar dan kecil dari dinamika kavitasi yang tidak stabil dengan pembentukan periodik pemasukan ulang, pelepasan dan keruntuhan awan gelembung dan menghasilkan gelombang tekanan hidrodinamik.

Model kavitasi ini didasarkan pada beberapa asumsi fisik yaitu: (Schnerr dan Sauer, 2001):

- a) Kavitasi dimodelkan sebagai proses pertumbuhan dan kehancuran gelembung uap.
- b) Gelembung berasal dari inti yang sudah ada dalam aliran dan tumbuh atau runtuh tergantung pada kondisi sekitarnya (tekanan dan suhu).
- c) *Slip* antara gelembung uap dan cairan dapat diabaikan.
- d) Kavitasi diasumsikan didominasi oleh nukleasi heterogen

II.2.8 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Computational Fluid Dynamic adalah analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait seperti reaksi kimia melalui simulasi berbasis komputer (Versteeg dan Malalasekera, 2007). Dasar dari CFD adalah prinsip-prinsip dasar konservasi massa, momentum dan energi yang mengarah pada persamaan dalam mengatur aliran fluida. Sehingga dapat dikatakan bahwasanya CFD merupakan analisa dengan melibatkan penciptaan satu set angka atau kode yang merupakan perkiraan realistik dari sistem kehidupan nyata.

Saat ini CFD menjadi komponen penting dalam desain produk dan proses industri. Salah satu keuntungan CFD adalah bahwa pengguna memiliki pilihan tingkat detail hasil yang hampir tidak terbatas. Selain itu jika dibandingkan dengan pendekatan berbasis eksperimen, untuk desain sistem fluida CFD memiliki beberapa keuntungan seperti waktu yang relatif singkat serta memiliki kemampuan untuk mempelajari sistem di mana eksperimen yang dikontrol sulit atau tidak mungkin dilakukan.

Kode CFD disusun dengan algoritma numerik yang dapat mengatasi masalah aliran fluida. Saat ini aplikasi CFD komersial sudah memiliki penggunaan antarmuka yang canggih untuk memberikan akses mudah ke daya penyelesaiannya. Penggunaan antarmuka difungsikan untuk memasukkan parameter masalah dan memeriksa hasilnya. Karena pada dasarnya semua kode mengandung tiga elemen utama yaitu:

a. *Pre-processor*

Pre-processor merupakan proses *input* parameter-parameter ke dalam program CFD yang selanjutnya dari parameter masukan ini dirubah menjadi bentuk yang sesuai untuk digunakan pada proses *solver*. Beberapa proses pada tahap *pre-processor* adalah sebagai berikut.

- a) Membuat geometri yang akan diproses atau domain komputasi
- b) Pembutan *grid* atau *meshing*
- c) Pemilihan fenomena fisika dan kimia yang akan dimodelkan
- d) Mendefinisikan sifat fluida
- e) Melakukan spesifikasi terhadap kondisi batas dari proses yang akan dimodelkan.

b. *Solver*

Solver secara umum adalah pemrosesan terhadap kondisi dan parameter yang telah dimasukan pada proses *pre-processor*. Pada langkah ini proses solusi numerik dilakukan. Solusi numerik merupakan metode pemecahan suatu permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan

Terdapat 4 macam solusi numerik yaitu *finite difference method*, *finite element method*, *spectral method* dan *finite volume method*. Dalam penelitian ini metode solusi numerik yang digunakan adalah *finite volume method* atau metode volume hingga. Adapun pada metode volume hingga secara garis besar proses solusi numeriknya terdiri dari langkah-langkah berikut:

- a) Integrasi persamaan aliran fluida yang mengatur atas semua domain komputansi
- b) Proses merubah data numerik atau konversi persamaan integral yang dihasilkan ke dalam sistem persamaan aljabar

c) Solusi persamaan aljabar dengan metode iterasi

c. *Post-processor*

Post-processor berfungsi untuk menampilkan hasil dalam format grafis dan mudah dibaca. Proses ini merupakan visualisasi dari *output* semua data proses yang dilakukan.

Demikian kajian tentang tinjauan pustaka dan landasan teori terkait penelitian tentang pengaruh bentuk tekstur terhadap performa pelumasan *hydrodynamics thrust bearing* bertekstur menggunakan metode *computational fluid dynamics*. Adapun mengenai metodologi dalam penelitian ini akan di jelaskan pada Bab berikutnya.



HALAMAN INI TIDAK TERSEDIA

BAB III DAN BAB IV

DAPAT DIAKSES MELALUI

UPT PERPUSTAKAAN UNWAHAS

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Secara umum tekanan hidrodinamik maksimum kondisi *slip* dan tanpa *slip* memiliki perbedaan yang tidak signifikan. Hal tersebut berbeda dengan bentuk Segitiga outlet dan Segitiga Inlet yang dimana kondisi batas tanpa *slip* cenderung mencapai tekanan yang sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi *slip*. Pemberian kondisi *slip* di semua bentuk tekstur mampu mengurangi daerah kavitasi yang terjadi dalam aliran.
2. Tekanan hidrodinamik maksimum tertinggi terjadi pada bentuk tekstur Segitiga Inlet kondisi *no slip* dengan nilai tekanan sebesar 0,23 MPa sedangkan tekanan hidrodinamik terendah terjadi pada bentuk taktur kotak kondisi *slip* dengan nilai tekanan sebesar 0,14 MPa.
3. Kondisi *slip* memberikan pengaruh terhadap nilai *load support* yang terjadi. Secara umum, nilai *load support* semua bentuk tekstur pada kondisi *slip* lebih tinggi daripada kondisi *no slip*. Selain *load support*, kondisi *slip* juga mampu mengurangi gesekan pada *bearing*. Nilai *friction force* dipengaruhi oleh kecepatan *sliding*. Semakin rendah kecepatan *sliding* maka gesekan yang terjadi akan semakin rendah.

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian untuk bentuk pocket yang berbeda dengan variasi bilangan Reynolds yang bervariasi

DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS Inc. (2013). *ANSYS Fluent Theory Guide*. Pennsylvania, USA: ANSYS Inc.
- ASM International. (1992). *Friction, Lubrication, and Wear Technology*. USA: ASM International.
- Bayada, G., & Meurisse, M. H. (2008). Impact of the cavitation model on the theoretical performance of heterogeneous slip/no-slip engineered contacts in hydrodynamic conditions. *Proc. IMechE Vol. 223 Part J: J. Engineering Tribology*, 371-381.
- Bhandari, V. B. (2007). *Design of Machine Elements*. USA: McGraw-Hill.
- Brizmer, V., Kligerman, Y., & Etsion, I. (2003). A Laser Surface Textured Parallel Thrust Bearing. *Tribology*, 397-403.
- Childs, P. R. (2014). *Mechanical Design Engineering Handbook*. Kidlington, UK: Elsevier Ltd.
- Fortier, A. E., & Salant, R. F. (2005). Numerical Analysis Of A Journal Bearing With A Heterogeneous Slip/No slip Surface. *World Tribology Congress III*, 1-2.
- Golenko, A. (2010). *Fundamental of machine design. A Coursebook for polish and foreign students*. Wroclaw: Wrocklaw University of Technology.
- Hamdavi, S., Ya, H. H., & Rao, T. L. (2016). Effect Of Surface Texturing On Hydrodynamic Performance Of Journal Bearing. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11, 172-176.
- Hao, L., Meng, Y., & Chen, C. (2014). Experimental investigation on effects of surface texturing on lubrication of initial line contacts. *Lubrication Science*, 363-373.
- Jiang, W. (2019). *Analysis and Design of Machine Elements*. Singapore: JohnWiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
- Lin, Q., Wei, Z., Wang , N., & Chen, W. (2013). Effect of large-area texture/slip surface on journal bearing considering cavitation. *Industrial Lubrication and Tribology*, 216-226.
- Muchammad, M., Hilmy, F., Jamari, J., & Schipper, D. (2018). CFD analysis of texture depth effect on the performance of hydrodynamic lubricated bearing. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1090.
- Muchammad, M., Tauviqirrahman, M., Jamari, J., & Schipper, D. J. (2016). An analytical approach on the tribological behaviour of pocketed slider

- bearings with boundary slip including cavitation. *Lubrication Science*, 133-152.
- Ramanamurthy, E. V., & Ramachandran, S. (2013). *Design Of Machine Element*. Chennai, India: Air Walk Publications.
- Rao, T. L., Rao, A. M., Nagarajan, T., & Hashim, F. M. (2013). Load Capacity of Partially Textured Slip Parallel Slider and Concentric Journal Bearing using Narrow Groove Theory. *The Malaysian International Tribology Conference*, 63-69.
- Schmid, S. R., Hamrock, B. J., & Jacobson, B. O. (2014). *Fundamentals of Machine Elements SI Version* (3rd ed.). Florida, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Sitepu, T., Ambarita, H., Sitorus, T. B., & Silaen, D. (2010). Efek Penambahan Zat Aditif Pada Minyak Pelumas Multigrade Terhadap Kekentalan dan Distribusi Tekanan Bantalan Luncur. *Jurnal Dinamis Vol. I No. 7*, 17-22.
- Song, Y., Gu, C.-w., & Ren, X. (2015). Development and validation of a gaseous cavitation model for hydrodynamic lubrication. *Proc IMechE Part J: J Engineering Tribology*, 1-12.
- Ugural, A. C. (2015). *Mechanical Design Of Machine Component*. Florida, USA: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Hallow,, England: Pearson Education Limited.
- Yan-qing, W., Gao-feng, W., Qing-gong, H., Liang, F., & Shi-rong, G. (2009). Tribological properties of surface dimple-textured by pellet-pressing. *The 6th International Conference on Mining Science & Technology*, 1513-1518.
- Zhang, S.-w. (2013). Green tribology: Fundamentals and future development. *Friction*, 186–194.