



**PENGARUH JENIS PELUMAS TERHADAP GETARAN
*SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING***

SKRIPSI

Oleh:

Dwi Nanda Achmad Suryansyah

151910101013

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH JENIS PELUMAS TERHADAP GETARAN
*SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar sarjana teknik

Oleh:

Dwi Nanda Achmad S

151910101013

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmannirrohim, dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan kenikmatan serta karunianya. Dengan penuh kerendahan hati dan keikhlasan, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Drs. Surianto MPdI. dan Dra. Nur Syamsiah yang telah memberikan semangat, nasehat serta doa tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
2. Adik dan kakak saya yang saya sayangi dan saya banggakan.
3. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan bapak Ir. Digdo Listiadi, M.Sc. selaku pembimbing anggota yang tiada henti dan tiada lelahnya membimbing saya, baik memberikan semangat, motivasi serta arahan selama riset dan penulisan skripsi saya hingga selesai.
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mesin yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan studi Strata satu (S1) sampai mendapat gelar S.T.
5. Semua guru di Taman Kanak-kanak Pertiwi yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
6. Semua guru di Sekolah Dasar Wonojati yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Semua guru di Sekolah Menengah Pertama 05 Pasuruan yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru di Sekolah Menengah Atas 01 Pasuruan yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua temen-teman dalam team riset yang telah banyak memberikan dukungan selama riset dan penulisan skripsi.
10. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2015 yang telah mengajarkan arti kebersamaan, memberikan motivasi sampai saya menjadi seorang sarjana.

11. Teman-teman kontrak jalan Kalimantan no 62 Jember yang telah memberikan semangat dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
12. Seluruh teman-teman pada masa kecil hingga perguruan tinggi.



MOTTO

“Adapun kalah itu menyakitkan tapi bagiku menyerah itu hina”

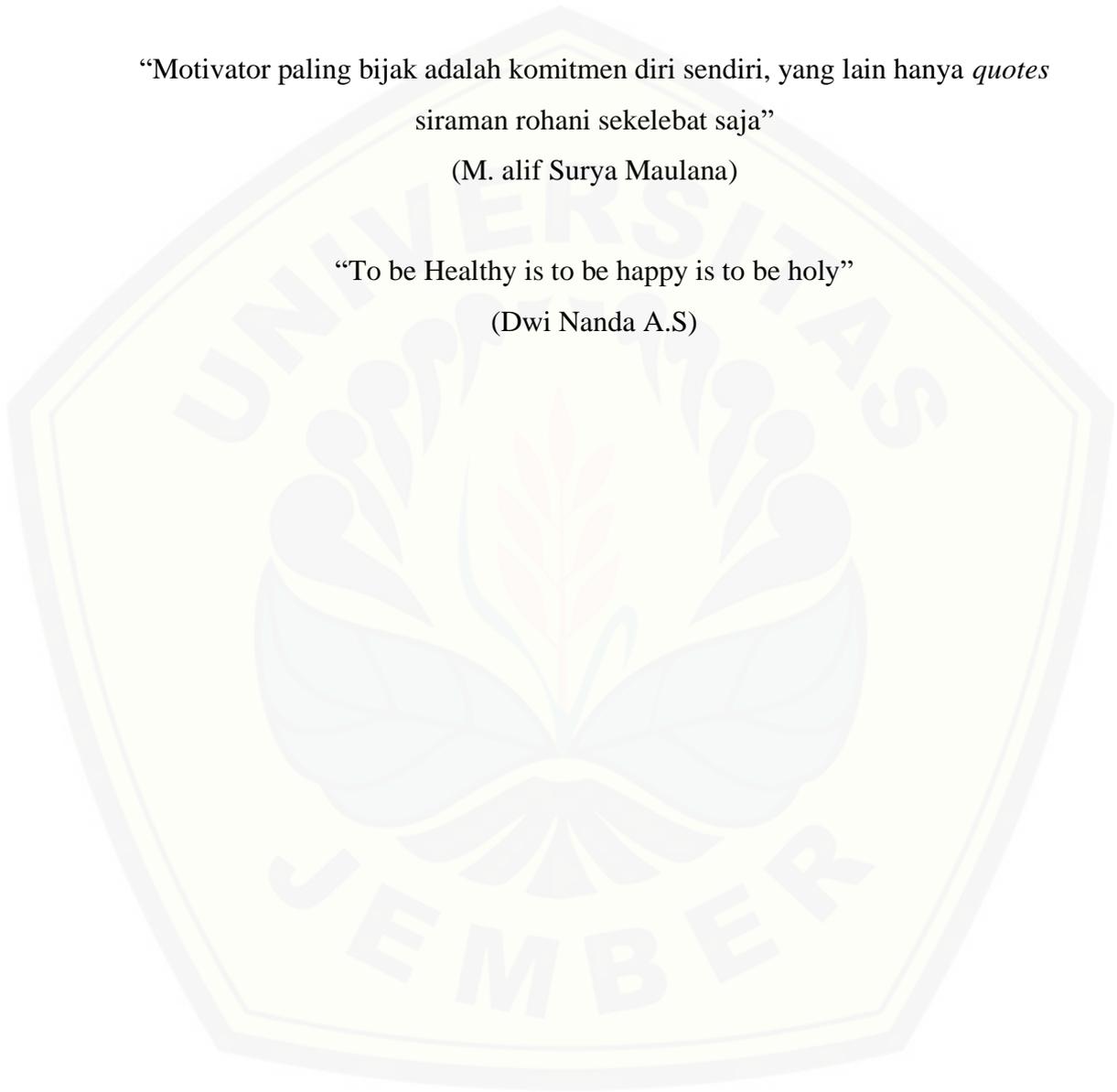
(Emha Ainun Najib)

“Motivator paling bijak adalah komitmen diri sendiri, yang lain hanya *quotes*
siraman rohani sekelebat saja”

(M. alif Surya Maulana)

“To be Healthy is to be happy is to be holy”

(Dwi Nanda A.S)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dwi Nanda Achmad S

NIM : 151910101013

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Jenis Pelumas Terhadap Getaran Bantalan Single *Row Deep Groove Ball Bearing*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 November 2019
Yang menyatakan,

Dwi Nanda Achmad S.
NIM 151910101013

SKRIPSI

**PENGARUH JENIS PELUMAS TERHADAP GETARAN
BANTALAN *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING***

Oleh

Dwi Nanda Achmad S

NIM 151910101013

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Digdo Listiadi, M.Sc.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Jenis Pelumas Terhadap Getaran Bantalan Single Row Deep Groove Ball Bearing” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Senin 06 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir.Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T.
NIP 196902091998021001

Ir. Digdo Listiadi, M.Sc.
NIP 196806171995011001

Penguji,

Penguji I

Penguji II

Ir. Andi Sanata, S.T., M.T.
NIP 1975050220011121001

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP 1965012020011211001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Pengaruh Jenis Pelumas Terhadap Getaran Single Row Deep Groove Ball Bearing; Dwi Nanda Achmad Suryansyah, 151910101013; 2019; 50 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Mobil listrik merupakan transportasi ramah lingkungan yang mulai dikembangkan di Indonesia karena tidak menghasilkan emisi gas buang. Kendaraan bermesin memerlukan pelumasan agar bekerja dengan baik. Fungsi pelumas pada mesin adalah melumasi komponen mesin, sebagai pendingin, serta untuk menghindari terjadinya gesekan langsung antara *bearing* dalam mesin yang mengakibatkan getaran, sehingga tingkat keausan *bearing* dan tingkat kerusakan mesin dapat dikurangi.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui secara akurat pengukuran getaran dan mengetahui variasi parameter mana yang paling berpengaruh terhadap kecepatan getaran (v). Proses pengukuran getaran dilakukan pada alat uji bearing dengan alat ukur *vibration meter extech SDL800*. Bahan yang digunakan yaitu jenis bearing 6000 2RS, 6200 2RS, 6300 2RS dan jenis pelumas Iso VG 15, SAE 10-40 dan NLGI 3. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur getaran bekerja pada bearing saat berputar pada putaran rpm 200, 250 dan 300, dengan menempelkan sensor dari *vibration meter* untuk menangkap nilai getaran pada layar *vibration meter*.

Proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *Microsoft excel*. Pengolahan data tersebut dilakukan untuk mengetahui variasi parameter mana yang paling pengaruh terhadap nilai getaran yang terjadi. Parameter yang diteliti antara lain bearing, pelumas, putaran n (rpm).

Berdasarkan hasil penelitian, viskositas suatu pelumas dapat mempengaruhi nilai kecepatan getaran (v). Semakin tinggi nilai viskositas suatu pelumas maka nilai (v) yang dihasilkan akan semakin kecil. Nilai (v) tertinggi terjadi pada pelumas tipe

Iso Vg 15 dengan nilai viskositas $15 \pm \text{cSt}$ terhadap *single row deep groove ball bearing 6300 2RS* dengan nilai 6,8 mm/s. Nilai (v) terendah terjadi pada kombinasi pengujian pelumas tipe NLGI 3 nilai viskositas $\pm 110 \text{ cSt}$ pada 40°C terhadap *single row deep groove ball bearing 6000 2RS* dengan nilai 2,8 mm/s.



Summary

Effect of Lubricant Type on Vibration Bearing Single Row Deep Groove Ball; Dwi Nanda Achmad Suryansyah, 151910101043; 47 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

Electric cars are environmentally friendly transportation that began to be developed in Indonesia because it does not produce exhaust emissions. Engine vehicles need lubrication to work well. The function of the lubricant in the engine is a component lubricating the engine, as a cooler, as well as to avoid direct movement of friction between the bearings in the engine which is released by vibration, so that the level of bearing wear and the level of engine damage can be increased.

This study aims to find out accurate vibration measurements and find out which variations are most important to vibration velocity (v). The Vibration Measurement process is carried out on a bearing test with the SDL800 extech vibration meter. The materials used are bearing type 6000 2RS, 6200 2RS, 6300 2RS and Iso VG 15, SAE 10-40 and NLGI 3. The retrieval data is done by connecting the drive device that works while rotating at rpm 200, 250 and 300, by attaching the sensor of the vibration meter to save the vibration value on the vibration meter screen.

The data processing is done by using Microsoft Excel. The data processing is carried out to determine which parameter variations most influence the value of the vibrations that occur. Parameters that move between other bearings, lubricant, spin n (rpm).

Based on the results of the study, the viscosity of a lubricant can increase the value of vibration velocity (v). The higher the viscosity value of a lubricant, the value (v) produced will be smaller. The highest value (v) occurs in type Iso Vg 15 lubricant with a viscosity value of $15 \pm \text{cSt}$ to a single row of grove balls in 6300 2RS with a value of 6.8 mm / s . The lowest value (v) occurs in the combination of NLGI 3 type lubricant testing the viscosity value of $\pm 110 \text{ cSt}$ at 40OC against a single row deep grove ball bearing 6000 2RS with a value of 2.8 mm / s .

PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya, sehingga skripsi dengan judul “Pengaruh Jenis Pelumas Terhadap getaran *Single Row Deep Groove Ball Bearing*” ini dapat terselesaikan sesuai dengan waktu yang direncanakan. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Terimakasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah mendukung untuk menyelesaikan skripsi ini termasuk rekan-rekan sekalian yang telah memberikan banyak bantuan dan dukungan kepada penulis, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto , S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan bapak Ir. Digdo Listiadi, M.Sc. selaku pembimbing anggota yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
2. Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama dan bapak Ir. FX Kristianta, M.Eng. selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk memperbaiki skripsi.
3. Teman- teman angkatan Teknik mesin 2015 dan semua pihak yang telah membantu namun tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu. Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi semua pembaca.

Jember, 10 Desember
2019

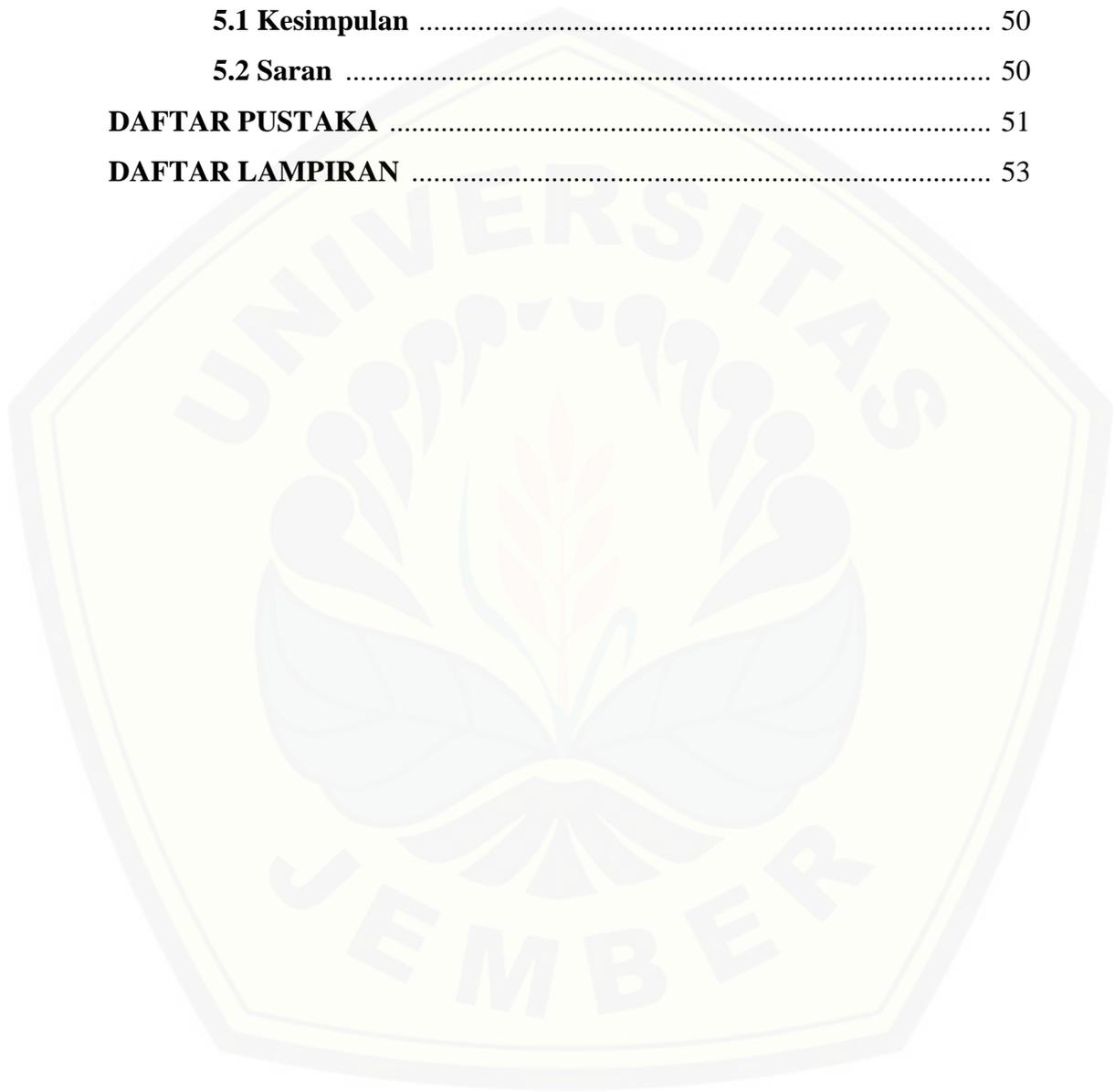
Dwi Nanda Achmad S

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	v
PERNYATAAN	vi
PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	xi
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Getaran	5
2.1.1 Jenis Getaran.....	5
2.1.2 Pengukuran Getaran.....	8
2.1.3 Analisa Sinyal Getaran.....	9
2.1.4 Gelombang.....	10
2.2 Penyebab Getaran	12
2.3 Pengertian <i>Bearing</i>	13
2.4 Jenis <i>Bearing</i>	14
2.4.1 Jenis <i>Bearing</i> Berdasarkan Gerak	14
2.4.2 Jenis Bantalan Berdasarkan Arah Beban dan Poros	14

2.5 Tipe Bantalan	15
2.5.1 <i>Single Row Deep Groove Ball Bearing</i>	15
2.5.2 <i>Double Row Deep Groove Ball Bearings</i>	15
2.6 Kode Khusus Pada Bantalan	16
2.7 Penjelasan Umum Pelumasan	19
2.7.1 Tipe Pelumas	19
2.8 Metode Pelumasan	24
2.8.1 Tegangan Permukaan	24
2.8.2 Pelumasan Hidrostatik	24
2.8.3 Pelumasan Hidrodinamik	25
2.9 Faktor Pelumasan	26
2.10 Beban Bantalan	27
2.11 Hipotesis	28
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Metode Penelitian	29
3.2 Waktu dan Tempat	29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	31
3.2.1 Alat	31
3.2.2 Bahan	34
3.4 Prosedur Penelitian	35
3.5 Pelaksanaan Penelitian	35
3.4.1 Variabel penelitian	35
3.4.2 Pengambilan data	35
3.5 Diagram Alir Penelitian	36
BAB 4. PEMBAHASAN	37
4.1 Data Hasil Pengujian Getaran	39
4.1.1 Data <i>bearing</i> dan <i>flywheel</i>	39
4.1.2 Data Jenis Pelumas	40
4.2 Analisis Data Kecepatan Getaran	40
4.3 Pembahasan Analisis Kecepatan Getaran	43
4.3.1 Analisis pada beban	43

4.3.2 Analisis putaran terhadap temperatur pelumas	44
4.3.3 Analisa viskositas pelumas terhadap getaran	46
4.4 Analisa Standart Getaran	47
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
DAFTAR LAMPIRAN	53



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Pendulum sederhana	5
Gambar 2.2 Contoh eksitasi deterministic dan random	6
Gambar 2.3 Ilustrasi siklus	7
Gambar 2.4 Contoh Percepatan waktu dan frekuensi	9
Gambar 2.5 Gelombang transversal	10
Gambar 2.6 Gelombang longitudinal	11
Gambar 2.7 Bantalan bola	13
Gambar 2.8 Arah beban pada <i>bearing</i>	15
Gambar 2.9 <i>Single Row Deep Groove Ball</i>	15
Gambar 2.10 <i>Double Row deep groove ball</i>	16
Gambar 2.11 Sistem kode klasifikasi bantalan	16
Gambar 2.12 Kondisi film daerah pelumasan.....	19
Gambar 2.13 Kelompok pelumas padat	23
Gambar 2.14 Penjelasan tentang pengertian viskositas	26
Gambar 2.15 Beban radial pada bantalan	27
Gambar 3.1 Skema Penelitian	30
Gambar 3.2 Alat uji bantalan	31
Gambar 3.3 Motor AC	31
Gambar 3.4 <i>Dimmer</i>	32
Gambar 3.5 Timbangan digital.....	32
Gambar 3.6 <i>Tachometer</i>	33
Gambar 3.7 <i>Vibration</i> meter	33
Gambar 3.8 Bantalan <i>single row deep groove ball bearing</i>	34
Gambar 3.9 Pelumas uji	35
Gambar 4.1 Konfigurasi geometri <i>flywheel</i> dan <i>bearing</i>	40
Gambar 4.2 Hubungan putaran, n (rpm) dengan kecepatan (v).....	41
Gambar 4.3 Korelasi temperature dengan bearing speed.....	44

Gambar 4.4 Lapisan film pelumasan untuk dua permukaan yang saling kontak.
.....44

Gambar 4.5 Korelasi ketebalan pelumas dengan waktu.45

Gambar 4.6 Standart getaran ISO 10816-346

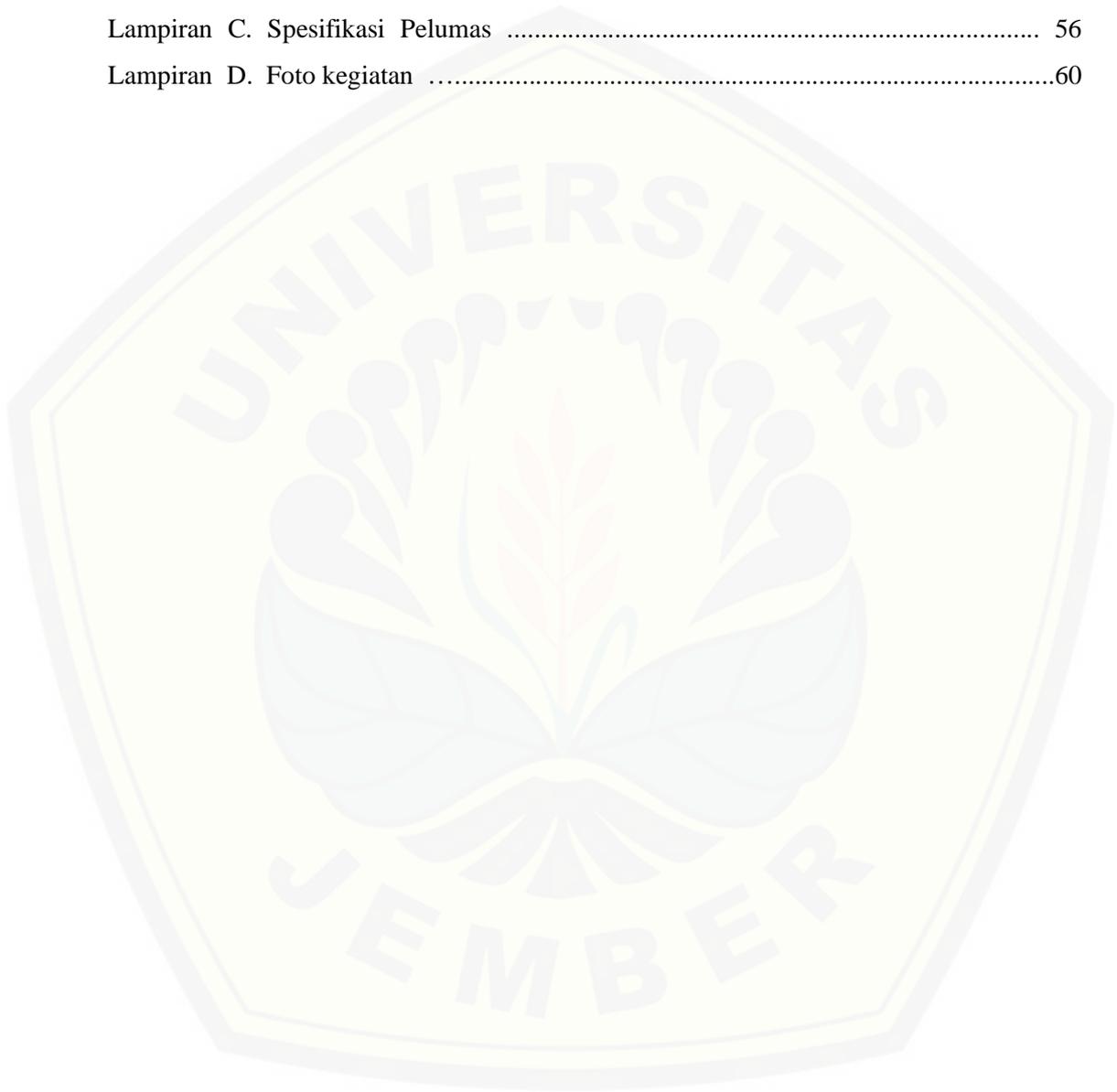


DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi Bearing	34
Tabel 4.1 Viskositas pelumas	40
Tabel 4.2 Data Hasil Eksperimen dengan bearing 6000 2RS Variasi Putaran (v) dan Jenis Pelumas	42
Tabel 4.3 Data Hasil Eksperimen dengan bearing 6200 2RS Variasi Putaran (v) dan Jenis Pelumas	42
Tabel 4.4 Data Hasil Eksperimen dengan bearing 6300 2RS Variasi Putaran (v) dan Jenis Pelumas	43
Tabel 4.5 Data Hasil Eksperimen dengan bearing 6000 2RS Variasi Putaran (v) dan Jenis Pelumas	48
Tabel 4.6 Data Hasil Eksperimen dengan bearing 6200 2RS Variasi Putaran (v) dan Jenis Pelumas	46
Tabel 4.7 Data Hasil Eksperimen dengan bearing 6300 2RS Variasi Putaran (v) dan Jenis Pelumas	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Lampiran putaran.....	52
Lampiran B. Hasil data percobaan	55
Lampiran C. Spesifikasi Pelumas	56
Lampiran D. Foto kegiatan	60



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi kendaraan bermotor di Indonesia sampai 2016 tercatat 7,109 juta unit. Data kendaraan bermotor di Indonesia meliputi: sedan 285.304 ribu unit, jeep 4x2 663.794 ribu unit, jeep 4x4 19.378 ribu unit, bis 4.769 ribu unit, pick up 204.552 ribu unit, sepeda motor 5,931 juta unit (Badan Pusat Statistik, 2016). Kendaraan bermesin memerlukan pelumasan agar bekerja dengan baik. Fungsi pelumas pada mesin adalah melumasi komponen mesin, sebagai pendingin, serta untuk menghindari terjadinya gesekan langsung antara *bearing* dalam mesin yang mengakibatkan getaran, sehingga tingkat keausan *bearing* dan tingkat kerusakan mesin dapat dikurangi (Anton, 1983).

Kekentalan pelumas mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan, pelumas juga menimbulkan hambatan pada gerak komponen mesin. Semakin kental pelumas, konsumsi bahan bakar akan semakin tinggi karena menimbulkan hambatan yang lebih tinggi. Penggunaan jenis pelumas mesin yang tepat akan memperpanjang usia pemakaian mesin serta mengurangi konsumsi bahan bakar (Ashim dan Tabah, 2013).

Mobil listrik pada 2016 mengalami 2 juta unit di seluruh dunia. Jumlah tersebut terdiri atas mobil listrik sebanyak 1,21 juta unit dan mobil dengan tenaga baterai 805 ribu unit. Tiongkok mendominasi jumlah kendaraan listrik, yaitu sebanyak 648.770 unit dan Amerika Serikat sebanyak 563.710. Terdapat penambahan jumlah mobil listrik sebanyak 753.170 unit yang terdiri atas mobil listrik 466.430 unit dan mobil dengan tenaga baterai sebanyak 286.750 unit. Jumlah tersebut meningkat 37,7 persen dari tahun sebelumnya yang hanya mencapai 547.120 unit (International Energy Agency, 2017).

Mobil yang menggunakan energi listrik memiliki kemudahan dalam penyaluran energi, dengan ini penggunaan sumber energi digunakan secara efektif (Setiono, 2016). *Bearing* sebagai komponen elemen mesin yang berfungsi sebagai penopang poros agar tidak mengalami gesekan pada saat berputar. *Bearing*

mempunyai ciri-ciri khusus pada getaran saat beroperasi, biasanya disebut *oil whirl*. *Oil whirl* merupakan getaran yang terjadi akibat dari lapisan tipis minyak pelumas (Eddy dkk., 2014).

Getaran (*vibration*) yang terjadi secara terus menerus akan sangat berpengaruh terhadap *bearing* terutama pada umur dan performa pada komponen mesin tersebut (Rachman dkk., 2017). Masalah yang terjadi pada getaran pada sebuah mesin antara lain: kestabilan, pelumasan pada *bearing*, cacat pada *bearing*, masalah listrik, resonansi, dan gesekan (Eddy dkk, 2014). Bantalan (*bearing*) merupakan bagian elemen mesin yang mempunyai fungsi untuk menompang poros agar tidak terjadi gesekan berlebihan pada saat berputar (Sularso, 1997).

Orlandi (1988) melakukan penelitian pada roda yang mengalami getaran disebabkan oleh penurunan kerja kendaraan baik pada permukaan jalan berpasir maupun rata. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa kinerja sebuah bearing dipengaruhi oleh kondisi permukaan tanah yang berbeda. Wahyudi (2016) menyatakan bahwa keadaan bantalan yang bagus mempunyai amplitudo velocity dibawah 1.80 mm/s dan spektrum vibrasi *Fast Fourier Transform* (FFT) *velocity* dan FFT *demodulation of acceleration* yang tidak beriringan dengan garis frekuensi impuls baik BPFI, BPFO dan BSF. Amplitudo *velocity* yang tinggi terjadi pada bantalan cacat 30% di lintasan dalam dan tidak pada bantalan yang bagus.

Kulkarni, dkk., (2016) menyatakan bahwa amplitudo puncak dengan getaran yang meningkat akan mempengaruhi cacat pada *bearing*. Berputarnya *ball* pada alur bantalan mengakibatkan elemen-elemen struktural yang bergerak secara bersamaan akan bergetar. Aritonang, dkk., (2018) hasil penelitian menyatakan bahwa kerusakan yang terjadi pada sistem suspensi pada roda empat akan menimbulkan getaran secara berlebihan dan sebaliknya getaran yang terjadi akan menyebabkan kerusakan dengan cacat local dan cacat teridistribusi pada sistem suspensi roda empat.

Eddy, dkk., (2014) meneliti tentang pengaruh kekentalan pelumas terhadap getaran bantalan luncur. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa bantalan luncur yang menggunakan pelumas SAE 40 getarannya lebih kecil daripada menggunakan SAE 30. Pada SAE 30 mempunyai nilai puncak peak amplitude

sebesar $14,375 \text{ m/s}^2$ sedangkan pada SAE 40 sebesar $9,108 \text{ m/s}^2$. Rachman, dkk., (2017) hasil penelitian menyatakan bahwa getaran tertinggi pada bantalan tanpa pelumasan dengan putaran $n = 1200 \text{ rpm}$ mempunyai nilai sebesar $4,8 \text{ mm/s}$, sedangkan nilai terendah dengan putaran $n = 1200 \text{ rpm}$ mempunyai nilai $3,8 \text{ mm/s}$ dan pada bantalan abrasi dengan putaran $n = 1200 \text{ rpm}$ mempunyai nilai 4 mm/s

Shinta, (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa nilai getaran pada masing masing bantalan semakin meningkat saat putaran tinggi. Hasil pengujian yang dilakukan mendapat nilai frekuensi getaran untuk jenis bantalan 6000 RS sebesar $2,4422 \text{ Hz}$, jenis bantalan 6200 RS sebesar, $f = 2,4426 \text{ Hz}$ dan jenis bantalan 6300 RS sebesar, $f = 2,4432 \text{ Hz}$. Permasalahan mobil listrik sampai saat ini masih sedikit yang meneliti tentang pengaruh jenis pelumasan pada bearing terhadap *vibration*. Penelitian ini akan menganalisis tentang pengaruh pelumasan dan jenis bearing terhadap *vibration* yang terjadi pada mobil listrik. Penelitian ini menggunakan alat uji *Vibration Meter Extech SDL800* untuk membaca sinyal getaran.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan kajian pustaka diatas bisa diambil rumusan masalah sebagai berikut: “Bagaimana pengaruh jenis pelumas pada *single row deep groove ball bearing* terhadap nilai getaran?”.

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian sebagai batasan masalah agar penelitian lebih fokus dan tidak keluar dari tujuan masalah yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Bearing yang diuji tipe *single row deep groove ball bearing*;
2. Tidak menganalisis keausan *bearing*;
3. Tidak menganalisis *rolling resistance*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah diatas yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh jenis pelumas pada *single row deep groove ball bearing* terhadap nilai getaran;
2. Untuk mengetahui angka getaran pada *bearing*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Sebagai pengembangan teknologi pada mobil listrik;
2. Mengetahui getaran yang terjadi pada mobil listrik;
3. Membantu pemerintah untuk mengembangkan mobil listrik yang efisien.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Getaran

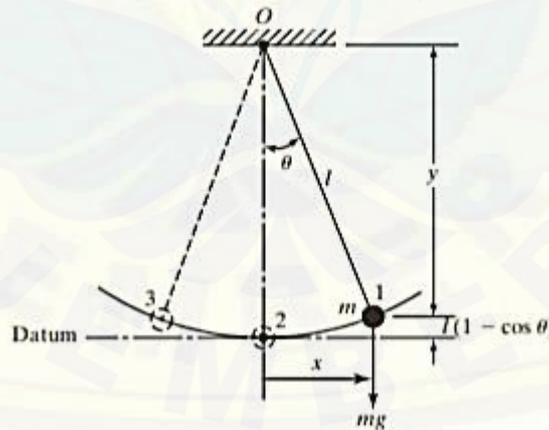
Getaran merupakan gerak berulang melewati titik keseimbangan yang diakibatkan oleh besar kecilnya energi yang diberikan. Amplitudo dan frekuensi merupakan bagian dari getaran yang menghasilkan tegangan dan waktu Eddy, dkk., (2014)

2.1.1 Jenis Getaran

Getaran dibedakan menjadi beberapa bagian diantaranya yaitu:

a. Getaran bebas dan getaran paksa

Getaran bebas merupakan getaran yang terjadi tidak berkaitan dengan gaya eksternal. Yang gangguan awalnya dibiarkan bergetar dengan sendirinya kemudian getaran berikutnya tersebut yang biasa disebut getaran bebas. Sedangkan getaran paksa terjadi karena suatu sistem dipengaruhi gaya eksternal. (Rao, 2011)



Gambar 2.1 Pendulum sederhana (Sumber: Rao, 2011)

b. Getaran teredam dan getaran tidak teredam

Getaran teredam terjadi jika terdapat energi yang sirna selama osilasi, sedangkan getaran tidak teredam kebalikan dari getaran teredam sehingga energi tidak sirna pada saat osilasi. Dalam menganalisis sistem getar dekat resonansi sangat penting dalam mempertimbangkan redaman getar (Rao, 2011).

c. Getaran linier dan getaran tidak linier

Getaran linier terjadi pada saat semua komponen sistem bergerak secara lurus, dimana terdapat pegas, massa dan peredam juga bergerak secara linier. Sedangkan getaran tidak linier kebalikan dari getaran linier, sehingga komponen bergerak secara tidak lurus.

d. Getaran deterministik dan getaran random

Getaran deterministik merupakan getaran yang mempunyai harga eksitasi yang selalu diketahui nilainya, sedangkan getaran random getaran yang harga eksitasinya tidak bisa diperkirakan karena itu juga disebut getaran acak.

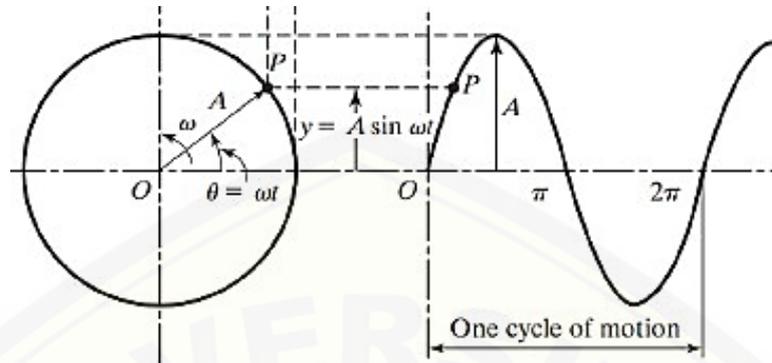


Gambar 2.2 Contoh eksitasi deterministic dan random (Sumber: Rao, 2011)

Getaran mempunyai istilah-istilah penting, diantaranya sebagai berikut (Rao,2011):

a. Siklus (cycle) merupakan benda yang berpindah dari posisi awal lalu berpindah ke posisi puncak (ekstreme) salah satu arah, kemudian bergerak kearah berlawanan dan kembali ke posisi awal lagi.

Gambar 2.3 menampilkan satu siklus getaran yang berpindah dari posisi awal lalu ke posisi puncak dalam satu arah.



Gambar 2.3 Satu siklus getaran (Sumber: Rao, 2011)

b. Amplitudo (A) adalah jarak atau simpangan yang terjauh dari posisi kesetimbangan, satuan meter (m).

c. Periode (T) merupakan waktu yang diperlukan untuk menjangkau satu lintasan bolak balik, dengan satuan detik atau biasa disimbolkan (s). Periode dirumuskan pada persamaan 2.1.

$$T = \frac{t}{n} \quad (2.1)$$

dengan:

t : waktu (s)

n : jumlah siklus

d. Frekuensi merupakan jumlah dari siklus per satuan waktu, satuan dari frekuensi yaitu Hz. Frekuensi dirumuskan seperti pada persamaan 2.2.

$$f = \frac{n}{t} \quad (2.2)$$

Pada pengukuran memiliki satuan mili detik (ms), maka frekuensi dirumuskan seperti pada persamaan 2.3

$$f = \frac{n \cdot 1000}{t} \quad (2.3)$$

e. Frekuensi natural merupakan suatu sistem yang memperoleh rangsangan pada saat bergetar tanpa diberi gaya dari luar, maka frekuensi yang terjadi disebut sebagai frekuensi natural dari sistem tersebut (Rao, 2011). Secara teoritis frekuensi natural dapat diperoleh dengan rumus seperti persamaan-persamaan berikut :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.4)$$

$$f_n = \frac{1}{T} \quad (2.5)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.6)$$

dengan:

ω_n : frekuensi natural (rad/s)

f_n : frekuensi natural (Hz)

k : kekakuan (N/m)

m : massa (kg)

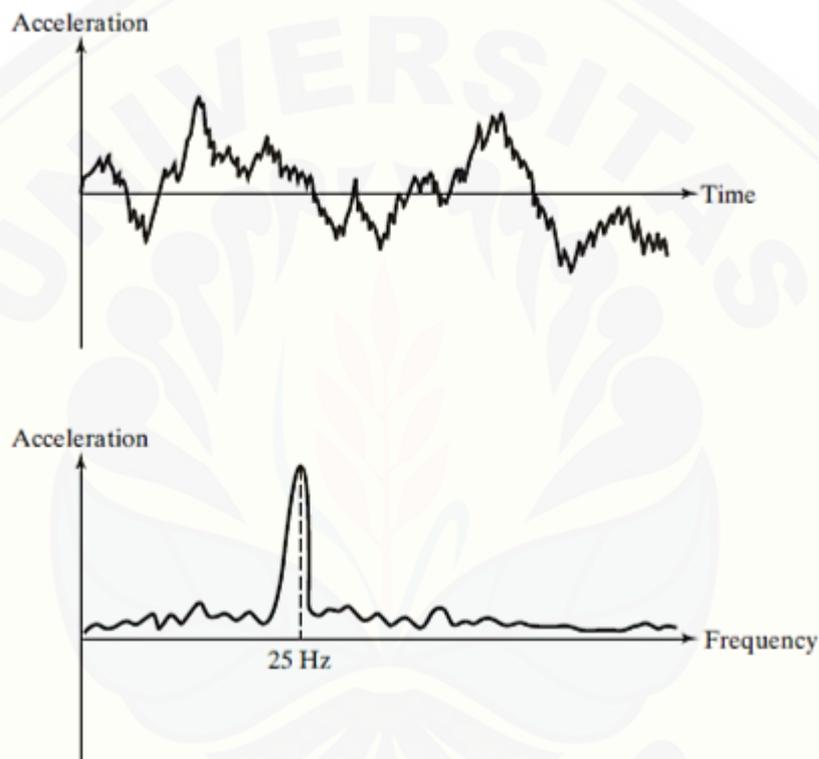
2.1.2 Pengukuran Getaran

Pengukuran parameter-parameter getaran sangat penting dalam berbagai penerapan. Besaran eksperimen yang diperlukan berupa kecepatan (*velocity*), percepatan (*acceleration*) atau amplitudo getaran (*vibration amplitude*). Besaran-besaran ini sangat berguna dalam meramalkan kegagalan lelah atau fatig (*fatigue failure*) bagian atau mesin tertentu, dan mungkin mempunyai peranan penting dalam analisa yang digunakan untuk mengurangi getaran struktur atau tingkat derau (*noise level*) (Holman, 1984).

Masalah pokok dalam setiap pengukuran getaran adalah dalam menentukan besaran yang tepat atas dasar suatu keadaan tertentu, yaitu kecepatan, *displacement*, atau percepatan dengan merujuk ke bumi. Secara ideal kita ingin mempunyai transducer getaran yang dihubungkan dengan benda yang bergerak dan memberikan sinyal keluaran (*output signal*) yang sebanding dengan masukan getaran. *Transducer* ideal itu tidak bergantung pada tempatnya, artinya, dapat berfungsi dengan baik, baik jika dipasang dengan struktur bergetar di tanah, diatas pesawat terbang ataupun di pesawat antariksa (Holman, 1984)

2.1.3 Analisa Sinyal Getaran

Dalam analisis sinyal, menentukan respon sistem dibawah eksitasi yang diketahui dan diubah dalam bentuk yang dapat mudah dibaca. Respon waktu tidak banyak memberi informasi, sedangkan respon frekuensi akan menunjukkan satu atau lebih diskrit frekuensi dimana energi terkonsentrasi. Jika karakteristik dinamis komponen individu dari sistem dapat diketahui, maka komponen frekuensi (dari respon frekuensi) dapat dihubungkan ke komponen tertentu (Rao, 2011).



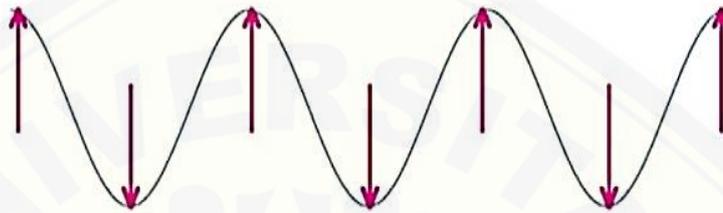
Gambar 2.4 Contoh Percepatan waktu dan frekuensi (Sumber: Rao, 2011)

waktu akselerasi dari obyek yang diberi getaran berlebihan akan tampak seperti Gambar 2.4 (a). Data ini tidak bisa digunakan untuk mencari penyebab getaran. Jika percepatan waktu di rubah ke domain frekuensi, spektrum frekuensi yang dihasilkan dapat muncul seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 (b), nilai frekuensi dapat ditampilkan. Frekuensi ini dapat dengan mudah dihubungkan, misalnya dengan kecepatan putaran motor. Dengan demikina spectrum akselerasi menunjukkan bawa motor mungkin menjadi penyebab getaran. Jika motor

menyebabkan getaran yang berlebihan, mengubah motor atau kecepatannya mungkin akan mengurangi resonansi atau getaran yang terjadi (Rao, 2011)

2.1.4 Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat yaitu rambatan energi dengan tidak disertai perpindahan partikelnya. Bentuk ideal dari suatu gelombang akan mengikuti gerak sinusoidal seperti pada Gambar 2.5

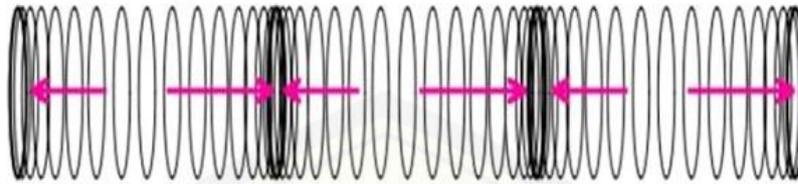


Gambar 2.5 Gelombang transversal (Sumber: Syam'ani, 2019)

Jenis-jenis gelombang dapat dibedakan berdasarkan arah rambatnya, medium perambatannya dan amplitudo simpangannya. Berdasarkan arah rambatnya ada dua macam gelombang, yaitu:

- a. Gelombang transversal Gelombang transversal merupakan gelombang yang arah getarnya tegak lurus terhadap arah perambatannya. Ketika mediumnya digetarkan dengan arah tegak (*vertikal*), maka gelombang akan merambat dengan arah mendatar (*horizontal*). Gelombang transversal dapat dilihat pada Gambar 2.5. Panjang satu gelombang atau biasa disebut panjang gelombang merupakan jarak antara dua buah puncak gelombang yang berurutan atau jarak antara dua buah dasar gelombang yang berurutan. Tinggi maksimum atau simpangan terjauh dari gelombang transversal merupakan amplitudo gelombang, biasanya disimbolkan dengan A dan dinyatakan dalam satuan panjang. Amplitudo pada gelombang transversal menyatakan besarnya energi yang dibawa oleh gelombang tersebut. Gelombang yang membawa energi yang besar mempunyai amplitudo yang besar pula.
- b. Gelombang longitudinal merupakan gelombang yang arah getarnya searah dengan arah perambatannya, terbentuknya gelombang longitudinal terjadi ketika getaran pada medium yang searah dengan rambatnya gelombang, sehingga

membentuk pola rapatan dan regangan. Gelombang longitudinal ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gelombang longitudinal (Sumber: Syam'ani, 2019)

Panjang gelombang pada gelombang longitudinal merupakan jarak antara dua rapatan yang berdekatan atau jarak antara dua renggangan yang berdekatan. Tingkat kerapatan pada pegas mirip dengan amplitudo pada gelombang transversal. Semakin rapat pegasnya, energi gelombangnya semakin besar. Berdasarkan medium perambatannya dapat dibedakan menjadi:

- a. Gelombang mekanik yaitu gelombang yang memerlukan medium perambatan.
- b. Gelombang elektromagnetik yaitu gelombang tanpa memerlukan medium perambatan. Hubungan dari setiap besaran-besaran pada gelombang, kecepatan perambatan gelombang adalah satu panjang gelombang dibagi periode. Secara matematis kecepatan perambatan gelombang (v) dapat ditulis seperti persamaan 2.7 berikut:

$$v = \lambda \cdot f \quad (2.7)$$

Karena $f = 1/T$, maka kecepatan perambatan gelombang juga dapat ditulis seperti persamaan 2.8 berikut:

$$v = \lambda T \quad (2.8)$$

dengan:

v : kecepatan perambatan gelombang (m/s)

λ : panjang gelombang (m)

f : frekuensi gelombang (Hz)

T : periode gelombang (s)

Persamaan gelombang yang bergerak secara periodik selama waktu (t) sekon memenuhi simpangan getaran harmonik, yang memenuhi persamaan 2.9 berikut: .

$$y = A \sin \omega t \quad (2.9)$$

dengan:

y : Simpangan gelombang (m)

A : Amplitudo atau simpangan maksimum (m)

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

t : Lamanya getaran (s)

Persamaan 2.9 merupakan simpangan getaran yang dapat ditulis menjadi persamaan kecepatan getaran 2.10 berikut:

$$\dot{y} = \omega A \cos \omega t \quad (2.10)$$

Persamaan 2.10 dapat ditulis menjadi persamaan percepatan getaran 2.11 berikut:

$$\ddot{y} = -\omega^2 A \sin \omega t \quad (2.11)$$

Persamaan 2.9 dapat ditulis menjadi persamaan 2.12 berikut:

$$y = A \sin 2\pi \varphi \quad (2.12)$$

dengan:

$$\varphi = 2\pi t / T = \text{sudut fase gelombang}$$

2.2 Penyebab Getaran

Penyebab getaran pada komponen permesinan ditunjukkan sebagai berikut:

2.2.1 Unbalance

Unbalance adalah ketidakseimbangan yang terjadi pada sumbu putaran pusat geometris dengan garis tengah. Hal ini disebabkan karena tingginya intensitas getaran radial.

2.2.2 Misalignment

Misalignment adalah keadaan dimana sumbu dengan poros tidak berhimpit. Hal ini yang menyebabkan ruang untuk terjadinya getaran yang tinggi .

2.2.3 Oil Whirl

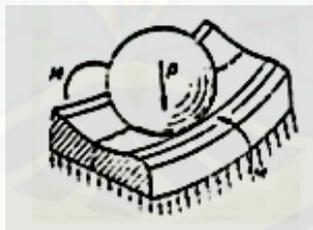
Oil Whirl adalah keadaan dimana terjadinya ketidaksempurnaan proses pelumasan. Hal ini mengakibatkan gangguan dan menghambat laju poros ketika poros berputar.

2.2.4 Mechanical Looseness

Mechanical Looseness adalah kejadian dimana kelonggaran bearing yang terlalu besar seperti, terlepasnya baut pengikat, komponen yang tidak pas dan struktur cacat. Hal ini akan mengakibatkan kelebihan getaran pada frekuensi yang tinggi

2.3 Pengertian *Bearing*

Bearing merupakan suatu komponen yang digunakan untuk mengurangi gesekan pada komponen yang saling menekan dan begesekan satu sama lainnya. *Bearing* digunakan menahan beban poros, sehingga dapat digunakan sebagai tumpuan pada beban aksial, radial dan kombinasi. *Bearing* sebagai pondasi dalam sistem permesinan harus cukup kokoh agar poros dapat bekerja secara maksimal (Sularso, 1997)



Gambar 2.7 Bantalan bola (Sumber: Dobrovolsky, 1978)

Bearing merupakan komponen yang bergeser dan berputar dengan fungsi utama adalah sebagai berikut:

- Bantalan digunakan Sebagai penghambat gesekan, pada sisi permukaan yang bersentuhan dan bergerak. Elemen gelinding merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi gesekan dengan cara memperkecil bidang kontak sehingga menghasilkan gesekan putar (*rolling friction*).

- b. Bantalan digunakan sebagai penahan beban, beban yang diterima dihasilkan oleh gerak poros dimana gerak poros dinyatakan dalam gaya tambahan.
- c. Bantalan digunakan untuk menahan agar elemen gerak atau bagian yang bergerak tetap pada posisinya (Sholihah, 2018).

2.4 Jenis *Bearing*

2.4.1 Jenis *Bearing* Berdasarkan Gerak

Sularso, (1997) menyatakan bahwa *bearing* dapat dikelompokkan menjadi dua jenis berdasarkan gerakannya sebagai berikut:

a. Bantalan luncur (*roller bearing*) merupakan gesekan yang terjadi antara poros dengan *roller bearing* secara langsung dengan perantara lapisan pelumas. Bantalan ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

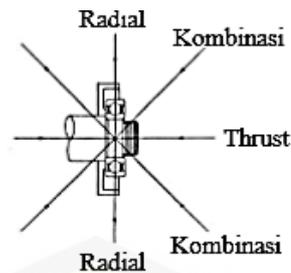
- 1) *sleeve bearing* merupakan bantalan berbentuk silindris yang menahan beban radial dan tegak lurus pada poros.
- 2) *Thrust bearing* merupakan bantalan berputar yang menahan beban aksial dan searah dengan sumbu poros.

b. Bantalan gelinding (*ball bearing*) merupakan gesekan yang terjadi antara poros dengan elemen diam pada *ball bearing* yang terletak diantara cincin atau silinder.

2.4.2 Jenis Bantalan Berdasarkan Arah Beban dan Poros

Jenis bantalan dibagi tiga jenis berdasarkan arah beban dan poros, yaitu:

- a. Bantalan Radial adalah bantalan yang menahan sumbu poros terhadap beban tegak lurus.
- b. bantalan Aksial adalah bantalan yang menahan beban sejajar dengan sumbu poros.
- c. Bantalan Tangensial adalah bantalan yang menahan beban tegak lurus dan sejajar terhadap sumbu poros (Sularso, 1997).



Gambar 2.8 Arah beban pada *bearing* (Sumber: Hermawan, 2012)

2.5 Tipe Bantalan Bola

2.5.1 *Single Row Deep Groove Ball Bearing*.

Single Row Deep Groove Ball Bearing adalah bantalan dengan bola alur tunggal dengan lintasan dalam dan luar dengan kelengkungan jari-jari sebesar 51,5 % sampai 53% dari diameter bola. Bantalan ini didesain untuk digunakan pada beban radial atau beban dorong yang besar dengan bergantung pada sudut kontak. (Harris, 2010)



Gambar 2.9 *Single Row Deep Groove Ball* (Sumber: SKF Group, 2018)

2.5.2 *Double Row Deep Groove Ball Bearings*.

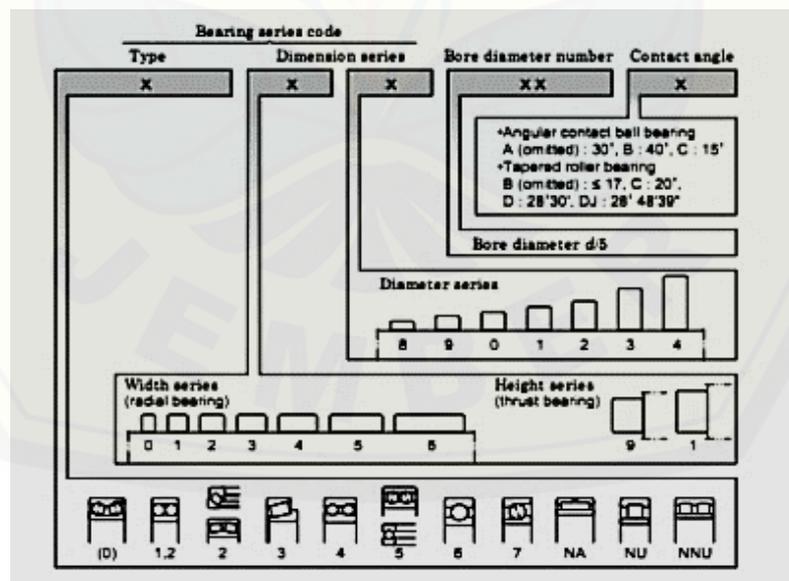
Double Row Deep Groove Ball Bearings adalah bantalan alur dalam ganda dengan kapasitas beban radial yang besar daripada alur tunggal. Digunakan untuk beban dorong searah maupun kombinasi radial (Sholihah, 2018).



Gambar 2.10 *Double Row deep groove ball* (Sumber: SKF Group, 2018)

2.6 Kode Khusus Pada Bantalan

Pengkodean bantalan terdiri dari nomor dasar dan pelengkap. Nomor dasar yang terdapat merupakan lambang jenis, lambang ukuran (lambang lebar, diameter luar), diameter lubang dan lambang sudut kontak. Lambang-lambang tambahan ini mencakup lambang sangkar, lambing sekat (sil), bentuk cincin, pemasangan dan kelonggaran. Berikut merupakan sistem pengodean bantalan:



Gambar 2.11 Sistem kode klasifikasi bantalan (Sumber: Seiko,1997)

Keterangan:

- (0) : Sudut kontak bantalan bola;
- 1 : *Self-aligning ball bearing*;
- 2 : *Self-aligning ball bearing, spherical roller bearing dan spherical thrust roller bearing*;
- 3 : *Tapered roller bearing*;
- 4 : *deep groove ball bearing (double row)*;
- 5 : *Thrust ball bearing angular contact ball bearing (double row)*;
- 6 : *Deep groove ball bearing (single row)*;
- 7 : *Angular contact ball bearing (single row)*;
- NA : *Needle roller bearing (single row, double row)*;
- N,NU : *Cylindrical roller bearing (double row)*;
- NN, NNU : *Cylindrical roller bearing (double row)*.

Bantalan dinyatakan dengan lambang jenis. Seperti baris tunggal alur diberi tanda 6, rol silinder diberi tanda seperti N, NF dan NU yang menyatakan jenis kerahnya (Sularso, 1997).

Lebar untuk bantalan radial dan tinggi untuk bantalan aksial dinyatakan sebagai lambang ukuran dari bantalan-bantalan tersebut. Lambang lebar tidak terdapat untuk bantalan bola radial. Diameter membesar dalam urutan 7,8,9,0,1,2,3 dan 4 lambang untuk diameter luarnya 0,2, dan 3 pada umumnya yang dipakai. Terdapat lambang lebar juga 0,1,2, dan 3 biasa digunakan. Lambang diameter luar 0 dan 1 menyatakan jenis beban sangat ringan; 2, jenis beban ringan; 3, jenis beban sedang, dan 4, jenis beban berat (Sularso,1997).

Dengan dua angka menyatakan nomor diameter lubang. Bantalan yang mempunyai diameter 20-500 (mm), kalikanlah dua angka lambang tersebut secara bertingkat, dengan kenaikan sebesar 5 (mm) setiap tingkatannya. Pada diameter lubang dibawah 20 (mm), nomor 10(mm); 01,12(mm); 02,15(mm); dan 03,17 (mm) diameter lubang. Pada diameter lubang dibawah 10 (mm), nomor tandanya sama dengan diameter lubang (Sularso, 1997).

Berikut ini adalah contoh nomor nomoinal (Sularso, 1997):

1. 6312 ZZ C3 P6

- 6 merupakan bantalan bola dengan baris tunggal alur dalam
- 3 merupakan singakatan dari lambang 03, dimana 3 menunjukkan diameter luar 130 (mm) dan diameter lubang 60 (mm)
- 12 ini merupakan $12 \times 5 = 60$ (mm) diameter lubang
- ZZ merupakan bersil 2
- C3 merupakan kelonggaran C3
- P6 berarti kelas ketelitian 6

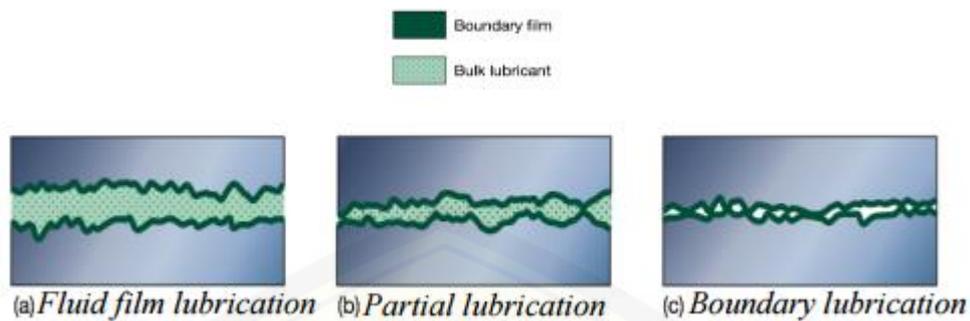
2. 22220 K C3

- 2 merupakan bantalan rol mapan sendiri
- 22 merupakan diametr luar 200 (mm) dan mempunyai lebar 53 (mm) untuk diametr lubangnya mempunyai 110 (mm)
- 20 merupakan $20 \times 5 = 100$ (mm) diameter lubang
- K merupakan 1/12 tirus lubang, kelas ketelitian 0
- C3 kelonggaran C3

2.6.1 Daerah pelumasan yang beroperasi pada *bearing*

Journal bearing dapat beroperasi pada 3 daerah pelumasan yaitu:

1. Thick film lubrication (fluid film lubrication). Fluid film lubrication yaitu terciptanya lapisan film pada bearing dan poros sehingga keduanya terpisah satu sama lain oleh pelumas sehingga tidak terjadi kontak (tidak ada asperity/puncakpuncak permukaan yang saling bertemu). Tipe bearing dan pelumasan yang seperti ini sering disebut dengan pelumasan bearing hidrodinamis (Hydrodynamic lubricated bearings).
2. Thin film lubrication (partial lubrication). Tercipta lapisan film yang sangat tipis sehingga beberapa asperity kedua permukaan saling berkontak sesekali waktu.
3. Boundary lubrication. Lapisan film pelumas yang sangat tipis sehingga banyak asperity yang berkontak. Gambar 2.4 menunjukkan ketiga kondisi film daerah pelumasan Suweca, dkk., (2006)



Gambar 2.12 Kondisi film daerah pelumasan (Sumber: Kurniawan, 2012)

2.7 Penjelasan Umum Pelumasan

Pemberian minyak pelumas antara dua permukaan bantalan, yaitu permukaan yang bersinggungan akibat tekanan, dan saling bergerak satu sama lain disebut dengan pelumasan (*lubrication*). Pelumasan bertujuan untuk mengurangi gaya gesek yang terjadi pada komponen yang bersinggungan. Pelumasan dapat dilakukan melalui berbagai mekanisme seperti *hydrodynamic lubrication*, *elastohydrodynamic lubrication (EHL)*, dan *boundary lubrication* (Harris, 2010). Pelumas dapat mengurangi power loss akibat gesekan pada bantalan. Pelumas berperan sebagai media untuk menyalurkan panas sehingga dapat menghilangkan panas pada bantalan. Pelumas dapat mendistribusikan kembali energi panas pada bantalan untuk mengurangi efek geometris yang terjadi akibat perbedaan thermal expansion. Pelumas dapat melindungi permukaan dari korosi. Pelumas dapat mengurangi potensi debu yang masuk ke bantalan. Dan pelumas dapat menjadi medium damping untuk mengurangi gerakan dinamis (Harris, 2010).

2.7.1 Tipe Pelumas

Dapat berupa wujud gas, cair, semi cair, yang dapat menerima gaya secara bebas dari peralatan mekanik dan mencegah kerusakan oleh abrasi dan pengurangan ukuran dari logam. Tipe pelumas memiliki kemampuan pada kondisi tertentu sehingga penerapannya juga berbeda. Pelumas diklasifikasikan menjadi empat kelompok, yaitu pelumas cair, pelumas gemuk (*grease*), pelumas polimer dan pelumas padat (*solid*).

a. Pelumas Cair

Pelumas cair (*liquid lubricants*) yang biasa digunakan pada bantalan adalah mineral (*mineral oils*) dan minyak sintetik (*synthetic oils*). Minyak mineral penggunaannya sangat luas atau lebih sering digunakan karena lebih murah dan stabil. Pelumas cair lebih sering digunakan karena memiliki keunggulan dibandingkan jenis pelumas lainnya (Harris, 2010).

Pelumas cair dengan bahan mineral dapat bekerja hingga suhu 200°C, sedangkan pelumas cair dengan bahan sintetik dapat bekerja hingga suhu 450°C (Rebai, 2014).

Minyak sintetik terbuat dari bahan dasar minyak murni. Pelumas ini disintesis dengan senyawa-senyawa molekuler yang dipilih secara khusus untuk memberikan sifat-sifat yang paling menguntungkan sebagai pelumas. Kebanyakan minyak sintetik terbuat dari minyak bumi, namun terkadang juga terbuat dari bahan dasar selain minyak, seperti *polyglycols*, *phosphate esters*, *dibasic acid esters*, *silicone fluids*, *silicate esters*, dan *fluorinated ethers* (Harris, 2010). Menurut Harris (2010) bahwa terdapat keuntungan dari pelumas adalah:

- 1) Mudah untuk dibersihkan dan diisi kembali.
- 2) Supply pelumas ke sistem mudah dikendalikan.
- 3) Sangat cocok digunakan pada sistem yang kompleks.
- 4) Pelumas tipe ini dapat digunakan pada sistem yang memiliki suhu yang tinggi karena dapat menghilangkan panas secara signifikan.

b. Pelumas Gemuk

Gemuk (*grease*) berasal dari Bahasa Latin “*crassus*” yang berarti lemak. Gemuk biasanya diklasifikasikan berdasarkan ketebalannya, dimana gemuk yang paling banyak ditemukan adalah *metallic soaps*. Gemuk tipe lainnya dibuat dari *polyurea* dan juga ada yang terbuat dari penebal inorganic (Ludema, 1996).

Ludema (1996) menyatakan bahwa gemuk yang terbuat dari dari tiga unsur utama, yaitu:

- 1) Zat cair dengan 80-90% dari total volume yang mana dapat dipilih dari oli mineral, oli sintetik, *polyglycols*, atau berbagai macam campuran zat cair.
- 2) Lemak nabati atau hewani yang biasanya 4-15% dari total volume.

- 3) Alkali yang digunakan untuk membuat gemuk biasanya calcium, alumunium, sodium, barium, dan lithium dengan 1-3% dari total volume.

Proses pembentukannya gemuk dari lemak adalah dengan memisahkan lemak tersebut dari zat cair lainnya atau yang biasa diketahui dengan *saponification*. Ketika asam lemak yang digunakan untuk pembuatan lemak, maka prosesnya disebut dengan *neutralization*. Bahan utama yang digunakan untuk gemuk kompleks adalah *lithium, alumunium, calcium dan barium* (Ludema, 1996). Gemuk (*grease*) memiliki kekentalan lebih tinggi dibandingkan dengan minyak pelumas. Gemuk digunakan pada bantalan yang dioperasikan dengan kecepatan rendah dan bertekanan besar, dimana tetesan minyak pelumas pada *bearing* tidak diinginkan. Gemuk memiliki dua fasa, yaitu minyak dan pengental yang secara fisik mempertahankan minyak kapiler. Material yang dihasilkan akan memiliki karakteristik *soft solid*, dan mampu mengeluarkan minyak sehingga dapat mengontrol jumlah konsumsi pelumasan (Harris, 2010).

Keuntungan penggunaan gemuk sebagai pelumas yaitu (Harris, 2010):

- 1) Perawatan dapat dikurangi karena tidak adanya ketentuan *oil level*;
 - 2) Melumas dengan kuantitas yang baik sehingga dapat digunakan dengan mudah pada bagian *housing*;
 - 3) Bebas dari kebocoran, sehingga penggunaannya mampu terhindar dari kontaminasi jika digunakan pada industri makanan, tekstil, dan kimia;
 - 4) Segel yang lebih baik pada penggunaannya pada bantalan;
 - 5) Torsi gesekan dan kenaikan suhu umumnya lebih menguntungkan.
- Penggunaan gemuk sebagai bahan pelumas yang efektif, dapat mempengaruhi performa pelumasannya (Ludema, 1996). Pelumas gemuk dengan bahan lemak hewani dan nabati dapat bekerja hingga suhu 130°C, sedangkan bahan lainnya dapat bekerja hingga suhu 175°C (Rebai, 2014).

c. Pelumas Polimer

Pelumas polimer (*polimeric lubricants*) juga berkaitan dengan gemuk karena pelumas tipe ini memiliki bahan dasar fasa minyak dan beberapa matriks. Matriks yang dimaksud adalah berupa spons padat yang mampu mempertahankan bentuk fisiknya pada lokasi bantalan. Fungsi pelumasan diberikan oleh minyak itu

sendiri setelah tertetes dari sponsnya. Volume minyak dapat dibuat lebih banyak dari pada gemuk, dan dalam kuantitas yang lebih besar dapat dipasang pada bantalan.

Volume minyak yang lebih besar menandakan masa pakai bantalan yang akan lebih lama (Harris, 2010). Pelumas polimer yang paling banyak digunakan biasanya terbuat dari *clays* dan *silica*. *Polyurea* merupakan salah satu tipe pelumas polimer yang terbentuk dari campuran urea dan unsur kimia lainnya. *Polyurea* merupakan salah satu tipe pelumas yang sangat stabil yang memiliki high dropping point. Beberapa tipe polimer yang sangat populer digunakan adalah *polyurea*, *polyisobutylene*, *methacrylate copolymers*, *ethylenepropylene copolymers*, dan *polyethylene* (Ludema, 1996).

Keuntungan dari penggunaan pelumas polimer yaitu (Harris, 2010):

- 1) Memiliki ketahanan tinggi dari kegagalan akibat dari pembersihan sistem.
- 2) Tingginya rasio pada ruang hampa oleh polimer mengakibatkan penurunan kemungkinan terjadinya perubahan temperatur pada bantalan.
- 3) Korosi akibat dari kondensasi kelembaban berkuang.

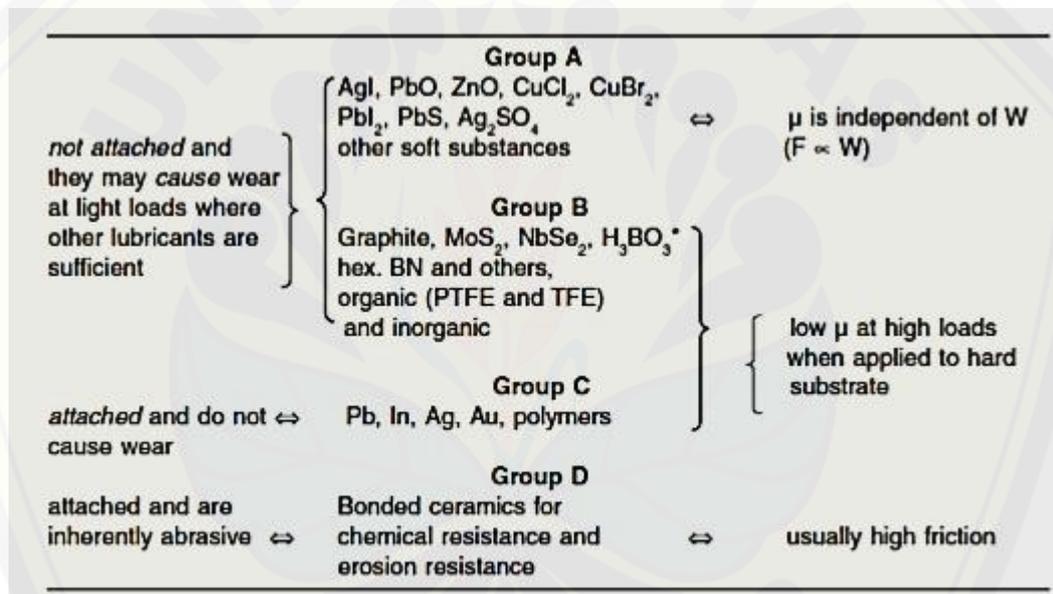
d. Pelumas Padat

Pelumas padat berguna untuk mengurangi gesekan dimana film pelumas tidak dapat dipelihara karena pengaruh tekanan atau suhu. Pelumas padat harus lebih lunak dari pada bahan yang akan dilumasi. Pelumas pada umumnya terbuat dari bahan grafit atau campuran grafit dengan minyak atau gemuk. Pelumas padat digunakan sebagai pengganti pelumas cair di lingkungan yang ekstrim seperti suhu tinggi. Pelumas padat tidak menggunakan mekanisme hidrodinamik atau *EHL*. Performa pelumas padat tidak dapat diprediksi, dan umumnya dapat menjadi media yang dapat menghasilkan panas yang baik karena gesekan (Harris, 2010).

Pelumas padat berfungsi sebagai *boundary lubrication* yang terdiri dari lapisan tipis yang memberikan kekuatan geser yang lebih rendah dari bahan bantalan. Pelumas padat terdiri dari struktur berlapis yang mudah bergeser atau tanpa lapisan yang dapat mengalami *plastic deformation* pada suhu rendah. *Graphites* dan *Molybdenum Disulfida* (MoS_2) adalah contoh material struktur

berlapis. *Fluorides* seperti *Calcium Fluorides* (CaF_2) adalah bahan tanpa lapisan yang memiliki kinerja baik pada suhu lelehnya (Harris, 2010).

Efektivitas dari pelumas padat bergantung pada kondisi operasionalnya, dan hal tersebut harus digunakan secara baik dan benar. Kelompok penggunaan pelumas padat dapat dilihat Gambar 2.9. Kelompok A dan B biasanya digunakan pada kondisi zat cair karena terdapat keterbatasan akibat permukaan yang tidak halus. Kelompok B dan C digunakan pada kondisi beban yang berat dimana pelumas kelompok ini akan menghasilkan gesekan yang rendah. Pelumas padat kelompok D digunakan pada kondisi gesekan yang terjadi sangat tinggi (Ludema, 1996).



Gambar 2.13 Kelompok pelumas padat (Sumber: Ludema, 1996)

Berdasarkan Ludema (1996) dan Harris (2010), dapat disimpulkan bahwa keuntungan dari penggunaan pelumas padat yaitu:

- 1) Pelumas padat dapat digunakan pada suhu tinggi.
- 2) Dapat digunakan pada kondisi gesekan yang rendah maupun tinggi bergantung pada kondisi kerjanya.
- 3) Dapat digunakan pada kondisi ekstrim dimana kondisi kerjanya adalah vakum atau hampa udara.

- 4) Pelumas tipe ini merupakan salah satu pelumas dengan media penghasil panas yang baik.

2.8 Metode Pelumasan

Ludema (1996) mengklasifikasikan metode pelumasan menjadi tiga, yaitu pengisian zat cair pada celah oleh tegangan permukaan, memompa zat cair pada area yang saling bersinggungan atau yang biasa disebut pelumasan hidrostatis, dan juga pelumasan hidrodinamik.

2.8.1 Tegangan Permukaan

Zat cair yang diteteskan pada permukaan datar akan keluar sebagian apabila diletakkan permukaan datar. Jumlah cairan akan tetap berada pada ruang atau celah tersebut bergantung pada nilai *wettability* cairan atau pelumas tersebut. *Wettability* dapat diartikan sebagai sudut kontak β yang terjadi antara zat cair dan permukaan datar. Nilai β yang semakin besar menandakan bahwa *wettability* cairan atau pelumas tersebut tidak baik, sebaliknya jika nilai β semakin kecil maka *wettability* cairan atau pelumas tersebut lebih baik. Setiap cairan memiliki nilai *wettability* tertentu (Ludema, 1996).

2.8.2 Pelumasan Hidrostatis

Pelumasan hidrostatis merupakan pelumasan yang berdasarkan tekanan. Pelumasan dengan tingkat ketebalan yang tebal digunakan pada tekanan tinggi untuk memisahkan permukaan benda yang saling kontak. Pelumasan tipe ini sangat minim akan gesekan yang terjadi pada benda kontak, digunakan ketika kecepatan putar rendah dan dapat mengakibatkan korosi karena adanya interaksi antara pelumas dan juga material permukaan yang dilumasi. (Rebai, 2014).

Dua permukaan yang saling bergeser dapat dipisahkan dengan memompa zat cair ke ruang atau celah diantara dua permukaan tersebut dengan tekanan yang cukup untuk memisahkan permukaan agar tidak saling bergesekan. Jumlah zat cair yang sangat banyak akan memisahkan permukaan yang bergeser pada jarak yang besar, dimana akan menghasilkan tahanan yang rendah pada gerakan gesernya. Pelumasan hidrostatis sangat efektif pada semua kecepatan geser, tetapi sangat dipengaruhi oleh pompa eksternal yang digunakan (Ludema, 1996).

2.8.3 Pelumasan Hidrodinamik

Pelumasan hidrodinamik adalah ketika permukaan yang bergeser sepanjang permukaan lainnya pada kecepatan rata-rata, dan jika bentuk *leading edge* dari permukaan yang bergerak terdapat zat cair yang dapat dikumpulkan dari permukaan yang bergerak maka kedua permukaan tersebut dapat dipisahkan dan bergeser dengan mudahnya (Ludema, 1996).

Pelumasan hidrodinamik merupakan tipe pelumasan yang paling umum digunakan pada industri modern dan hal ini dipertimbangkan sebagai salah satu hal yang paling sesuai karena ketebalan lapisan pelumas lebih tebal daripada ketinggian permukaan yang saling kontak, tetap dapat berputar pada kecepatan normal dan tinggi, juga berhenti pada kecepatan rendah. (Rebai, 2014).

Pelumasan hidrodinamik menunjukkan pengaruh deformasi elastis pada area kontak. Ketika dilakukan pembebanan, terdapat deformasi elastis pada permukaan. Ini menunjukkan meningkatnya nilai dan memperluas area pendekatan material (Ludema, 1996).

Tekanan kontak akan menjadi lebih kecil, dan zat cair yang keluar harus berpindah jauh pada kontak yang tidak terkena, hal ini menyebabkan pelumas film akan menjadi lebih tebal. Ertel meneliti mengenai pengaruh tekanan terhadap peningkatan nilai viskositas (Ludema, 1996).

Dalam mendesain sebuah bantalan terdapat minimal tiga konsentrasi yang harus dipertimbangkan. Yang pertama adalah untuk menghalangi tekanan pelumas yang keluar dari rangkaian atau sambungannya: hal ini memerlukan pembatas carain pada ujung bantalan atau bantalan panjang, dan memerlukan lokasi yang sesuai untuk pelumasannya. Konsentrasi yang kedua yaitu pembuangan debris atau kotorannya. Debris atau kotoran akan mengganggu produktifitas dari bantalan tersebut. Konsentrasi ketiga adalah pembuangan panas. Panas yang berlebihan dihasilkan oleh gesekan cairan dan beberapa diantaranya juga dihasilkan oleh kontak dari permukaan solid. Pelumas merupakan zat yang berperan untuk mengurangi panas tersebut. Panas yang berlebihan lebih cepat daripada panas yang dapat ditampung atau dibuang oleh pelumas akan mengakibatkan penurunan kualitas pelumas, dan juga akan mengakibatkan gesekan pada permukaan kontak

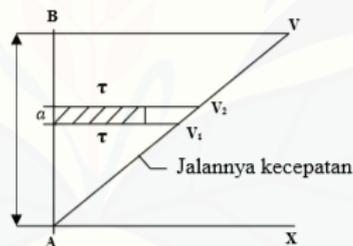
Penelitian mengenai pelumasan hidrodinamik berfokus pada properti zat cair yang digunakan pada tekanan tinggi, secara partikularnya pada high shear rates. (Ludema, 1996).

2.9 Faktor Pelumasan

Bahan pelumasan yang digunakan pada bantalan luncur seperti pelumasan pada bantalan tipe lainnya, yang membedakan penggunaannya adalah kondisi lingkungan penggunaannya dimana tiap pelumas memiliki viskositas (kekentalan) yang berbeda yang mempengaruhi kondisi pelumasan dan gesekan yang terjadi pada bantalan.

2.9.1 Viskositas

Viskositas adalah ketahanan zat cair yang mengalir dimana partikelnya bergerak sejajar dengan suatu arah AX tertentu, tetapi dengan kecepatan dan gaya yang bekerja sebagai akibat gesekan benda satu sama lain. Satu luasan yang ditinjau dapat dianggap ada tegangan putus-geser (*shear stress*) τ dalam Gambar 2.15 ditunjukkan dengan lapisan yang diarsir.



Gambar 2.14 Penjelasan tentang pengertian viskositas (Sumber: Stolk, 1986)

Pada aliran yang diteliti, kecepatan penampang AB sepadan dengan jarak sampai A, maka menurut eksperimen ternyata bahwa tegangan putus-geser itu sepadan dengan kemunduran kecepatan, yang dalam hal ini sama dengan $v_1 - v_2 / a = v / k$. Jadi pada umumnya dapat dikatakan (Stolk, 1986)

$$\tau = \eta \cdot v/h$$

dengan:

η : viskositas zat cair (Ns/m²);

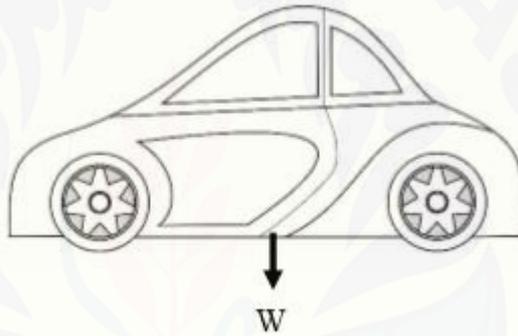
v : kecepatan (m/s);

h : jarak (m).

2.10 Beban Bantalan

Beban yang bekerja pada bantalan dibagi menjadi tiga jenis yaitu bantalan dengan beban radial, beban aksial, dan beban gabungan (beban radial dan beban aksial). Pada saat memilih produk sebuah bantalan beban merupakan salah satu faktor yang diperhitungkan karena beban merupakan faktor yang berpengaruh.

Beban radial pada bantalan di asumsikan pada kendaraan, dimana beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu poros bantalan. Pada penelitian yang akan dilakukan beban radial diperoleh dari berat *flywheel* dan berat rumah bantalan. Beban radial yang terjadi pada bantalan diperoleh dari hasil perhitungan berat keseluruhan beban dari arah tegak lurus.



Gambar 2.15 Beban radial pada bantalan

Beban radial yang terjadi pada kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut (Sutantra, 2010).

$$W = m \cdot g$$

dengan:

W : Gaya berat (N)

m : Massa (kg)

g : Gravitasi (9,8 m/s²)

2.11 Hipotesis

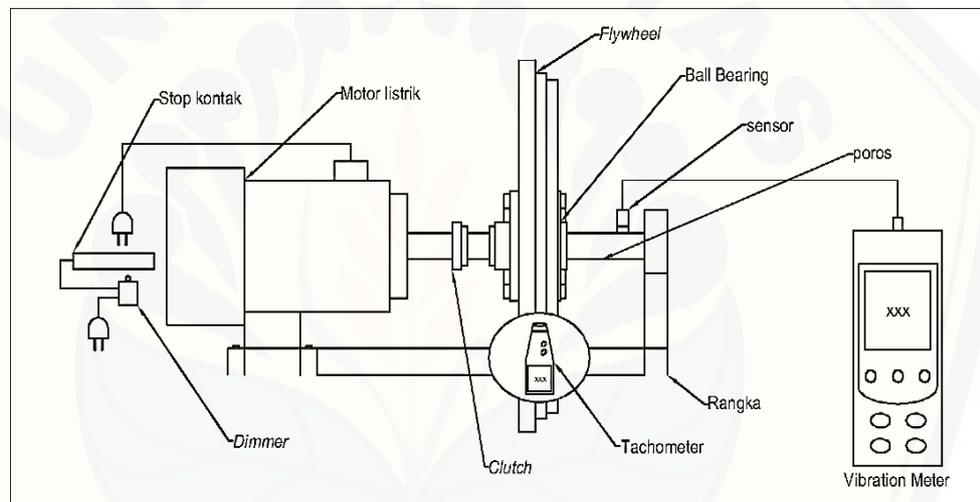
Berdasarkan pengamatan yang dilakukan serta studi literatur, didapatkan hipotesa awal penelitian ini adalah viskositas pelumas yang tinggi mengakibatkan getaran pada bearing semakin rendah, getaran yang rendah pada bearing diakibatkan lapisan film pelumas yang dapat mengurangi gesekan secara langsung antara poros dengan bearing.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu suatu metode pengamatan eksperimen secara langsung. Variabel penelitian yang digunakan adalah tipe bearing, jenis pelumas, putaran n (rpm) yang dapat mempengaruhi nilai getaran sehingga didapatkan nilai yang paling optimal dengan menggunakan alat *vibration mater*. Gambar 3.1 dibawah ini merupakan skema pengambilan data pengaruh 3 (tiga) variabel penelitian terhadap nilai getaran.



Gambar 3.1 Skema penelitian

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perancangan Mekanik Fakultas Teknik Universitas Jember yang dimulai pada tanggal Juni – November 2019.

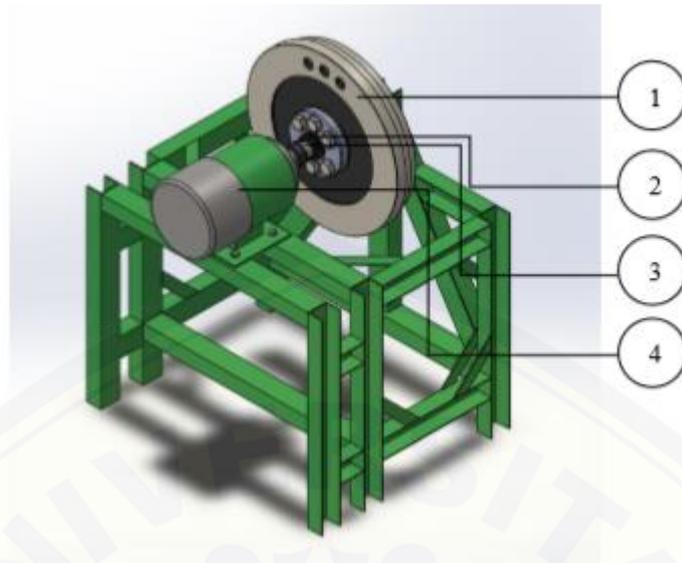
3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a). Alat uji *bearing*

alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.2 Alat uji bantalan

Keterangan:

1. Flywheel
2. Clutch
3. Poros
4. Motor listrik

b. Motor AC

Motor AC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan sumber tegangan AC. Motor AC juga disebut sebagai motor arus bolak balik. Motor AC digunakan sebagai sumber gerak pada variabel putaran bantalan



Gambar 3.3 Motor AC

Spesifikasi motor AC tipe YC80C-2:

- 1) Output : 0,37 kW
- 2) Rated speed : 2800 rpm
- 3) Rated voltage : 220 V
- 4) Rated current : 6,7 A
- 5) Frekuensi : 50 Hz

c. Dimmer

Dimmer ini digunakan sebagai alat pengatur putaran motor listrik.



Gambar 3.4 Dimmer

d. Timbangan digital Timbangan digital digunakan untuk alat mengukur berat atau massa sebuah objek spesifikasi timbangan digital ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Timbangan digital

Spesifikasi timbangan digital:

- a) Capacity : Max 200 gram – 0,01 gram
- b) Digital scala pocket : 200/0.01

c) Battery : 2 AAA series

e. Tachometer

Tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi dari benda bergerak, contohnya seperti alat pengukur dalam mobil yang mengukur putaran per menit (RPM) dari poros engkol mesin.



Gambar 3.6 Tachometer

- a) Type : Digital tachometer
 b) Contact test range : 20 – 20.000 rpm
 c) Accuracy : 0,05% + 1 digit
 d) Resolution : 0,1 rpm e) Battery : 3 AA series

f. *Vibration meter Extech SDL800*

Tabel 3.1 spesifikasi *vibration meter extech SDL800*

Acceleration	656ft/s ² , 200m/s ² , 20.39g
Velocity	7.87in/s, 200mm/s, 19.99cm/s
Pemindahan	0.078in, 2mm (peak-to-peak)
Resolusi	1ft/s ² , 0.1m/s ² , 0.01g; 0.01in/s, 0.1mm/s, 0.01cm/s; 0.001in, 0.001mm
Akurasi dasar	±(5%+2 digits)
Ukuran	7.2 x 2.9 x 1.9" (182 x 73 x 47.5mm)
Berat	21.1oz (599g)



Gambar 3.7 Vibration meter

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu bantalan single row deep groove ball bearing dan pelumas:

1. Bantalan

bantalan jenis *single row deep groove ball bearing* dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Spesifikasi Bearing

No	Jenis Bearing	Diameter inner (mm)	Diameter outer (mm)	Massa (kg)
1	6000 2RS	10	26	0,019
2	6200 2RS	10	30	0,032
3	6300 2RS	10	35	0,053



Gambar 3.8 Bantalan *single row deep groove ball bearing*

2. Pelumas

Pelumas yang diuji dalam penelitian ini yaitu pelumas jenis ISO VG 15, SAE 10W-40, NLGI 3. Berikut gambar jenis-jenis pelumas yang digunakan dalam penelitian.



a) Minyak singer (ISO VG 15), b) Oli (SAE 10W-40), c) Grease (NLGI 3)

Gambar 3.9 Pelumas uji

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Studi Literatur Studi literatur dilakukan untuk memperoleh referensi pendukung yang sesuai dengan topik penelitian. Materi yang dipelajari meliputi: analisa getaran dengan jenis pelumasan dan bantalan
- Eksperimen Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :mendeteksi getaran masing-masing bantalan dan pelumas secara bergantian.
- Analisa Hasil Penelitian Hasil data pengujian getaran bantalan dianalisa untuk mengetahui pengaruh pelumas dan bantalan.
- Kesimpulan Kesimpulan diperoleh berdasarkan rumusan masalah penelitian yang telah ditentukan pada Bab 1.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Variabel penelitian

Dalam tahap awal penelitian, hal yang dilakukan adalah menentukan variabel penelitian. Terdapat dua jenis variabel yaitu meliputi:

- Variabel terikat

Merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas dalam penelitian. Dalam hal ini variabel terikat yang dipilih dalam penelitian ini yaitu: kecepatan Getaran (v).

b. Variabel bebas

Merupakan variabel yang dapat mempengaruhi variabel terikat. Dalam penelitian ini akan digunakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi variabel terikat. Faktor-faktor yang akan digunakan yaitu: tipe pelumas tipe bantalan, dan putaran n (rpm).

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan. Variabel kontrol dalam penelitian ini yaitu beban, $W = 200 \text{ N}$

3.5.2 Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data yang akan dilakukan pada penelitian ini:

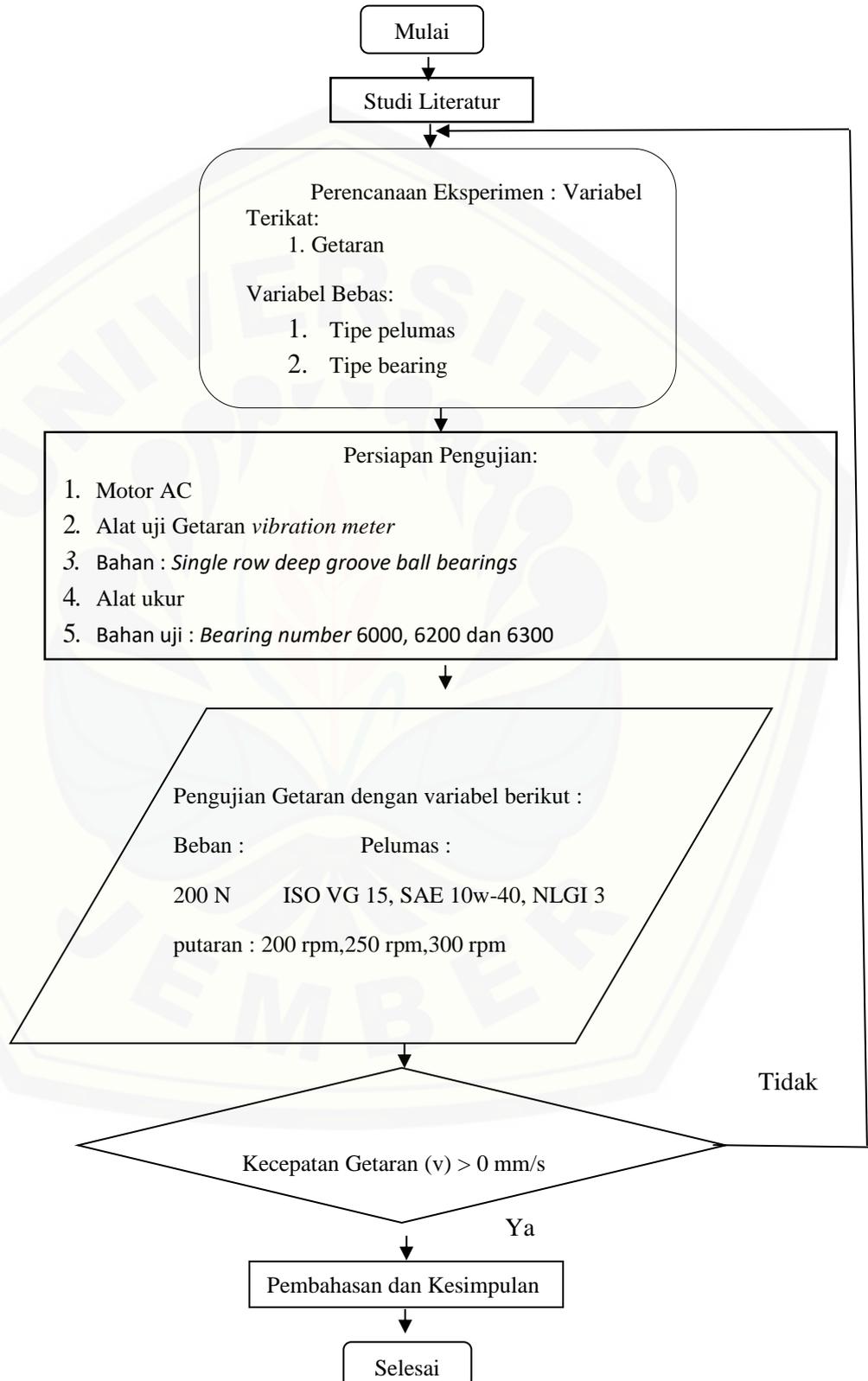
- a. Menyiapkan alat dan bahan sesuai kebutuhan pengujian.
- b. Memasang bahan pada mesin uji bantalan untuk dilakukan pengujian.
- c. Memasang alat uji getaran pada alat uji bantalan untuk dilakukan pengujian getaran.
- d. Mengatur putaran (rpm) pada *flywheel* yang berputar .
- d. Melakukan pengujian getaran dengan merekam hasil dari pengujian.
- e. Lakukan kembali pengujian untuk tipe bahan yang berbeda.

3.5.3 Pengolahan Data

Tahap ini adalah tahap pengolahan data yang didapat dari proses pengambilan data. Dari hasil pengolahan data dapat diambil kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah. Pengujian ini menggunakan metode ekperimental dengan langkah-langkah pengujian seperti dijelaskan pada sub bab 3.5.2. Dalam pengujian didapatkan 2 data yaitu waktu berputar *flywheel* dan data getaran dari *vibration meter*. Data getaran dari *vibration meter* menghasilkan kecepatan getaran (v) untuk menganalisa bagaimana hubungan antara jenis pelumasan dan putaran n (rpm) yang terjadi.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar berikut:



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kecepatan getaran (v) sebagai berikut:
 - a) Nilai kecepatan getaran paling rendah terjadi pada *bearing* 6000 2 RS menggunakan pelumas NLGI 3, yaitu v rendah = 2,8 mm/s.
 - b) Nilai kecepatan paling tinggi terjadi pada *bearing* 6300 2 RS menggunakan pelumas ISO VG 15, yaitu v tinggi = 6,8 mm/s.
 - c) Semakin besar viskositas pelumas maka nilai kecepatan getaran (v) semakin kecil.
2. Dasar pemilihan pelumas harus disesuaikan berdasarkan tujuan pemakaian, jika tujuan pemakaian pelumas untuk memperoleh nilai kecepatan getaran (v) yang rendah maka pelumas viskositas tinggi yang digunakan.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dikaji lebih lanjut tentang penggunaan pelumas berbahan dasar mineral oil, vegetable oil, biodiesel oil.
2. Perlu dikaji lebih lanjut keausan pada bearing karena getaran yang tinggi.
3. Diperlukan variasi pembebanan pada Flywheel untuk melihat pengaruh lebih dari beban yang menghasilkan getaran lebih tinggi

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat. (2015). Statistik Konsumsi BBM Nasional Per Tahun. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik.
- Dewi, S, A. (2019). Analisis Getaran *Single Row Deep Groove Ball Bearing* Terhadap Nilai *Rolling Resistance*. Skripsi. Program Studi Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.
- Dobrovolsky, V., Zablonsky, K., Mak, S., Radchik, A., & Erlikh, L. (1978). *Machine Elements*. Moscow: Peace Publisher.
- Eddy, N. (2014). Analisis Getaran pada Bantalan Luncur yang Diakibatkan oleh Pengaruh Kekentalan Pelumasan. Yogyakarta. Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014: B111 - B116.
- Harris, T. (2010). *Rolling Bearing Analysis* (4th ed.). New York: A WileyInterscience Publication.
- Hermawan, S. (2012). *Studi Karakteristik Hidrodinamika Pada Slider Bearing Dengan Permukaan Slip dan/atau Permukaan Berstuktur*. Skripsi, Universitas Diponegoro, Jurusan Teknik Mesin, Semarang.
- Imam Kholiq. (2015). Pemanfaatan energi alternatif sebagai energi terbarukan untuk mendukung substitusi BBM. Universitas Wijaya Putra Surabaya Jawa Timur Indonesia.
- Juhala, M. M. (2014). *Improving Vehicle Rolling Resistance And Aerodynamics*. Finland: Woodhead Publishing Limited Science Direct (2014):462 – 475.
- Koyo Seiko. (1997). *Ball & Bearings* (Vols. CAT. No. 203E-1). Japan: Seiko.
- Kulkarni, S. (2016). *Experimental Investigation for Distributed Defects in Ball Bearing using Vibration Signature Analysis*. *Procedia Engineering* 144 (2016):781 – 789.
- Ludema, K. C. (1996). *Friction, Wear, Lubrication*. New York: CRC Press.
- NTN. 2015. *Ball and Roller Bearings*. NTN Corporation: CAT.NO.2002-XII/E.
- Orlandi, A. (1988). *Effects of Vibration on Rolling Resistance*. *Printed in Great Britain Sciencedirect*, 25 (3): 231-237.
- Rao, Singiresu S. (2011). *Mechanical Vibrations Fifth Edition*. University of Miami: Prentice Hall.

Rebai, H. (2014). *Tribology and Machine Elements*. Bachelor Thesis, HAMK University of Applied Science, Mechanical Engineering and Production Technology, Riihimaki.

SKF Group. (2018). *Railway Technical Handbook* (Vol. 1 Chapter 4). Rusia.

Solihah, Z. (2019). Pengaruh Jenis Pelumasan Terhadap *Roliing Resistance* Bantalan *Single Row Deep Groove Ball Bearing Skripsi*. Program Studi Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Jember.

Stolk, J., & Kris, G. (1986). *Machineonderdelen*. Rotterdam: Marks Drukkerij en Uitgeverij B. V.

Sularso, I., & Suga, K. (1997). *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Syam'ani, S.Hut, M.Sc. (2019) Dasar-dasar teknologi SAR.



A. Lampiran Perhitungan

A.1 Perhitungan keliling

roda (ukuran 16 inchi)

Diketahui :

Ukuran roda = 16 inchi Perhitungan :

Diameter roda = 16 inchi

$$= 16 \times 2,54 \text{ cm}$$

$$= 40,64$$

Keliling roda = $\pi \times d$

$$= 3,14 \times 40,64$$

$$= 127,6 \text{ cm}$$

$$= 1,276 \text{ m}$$

A.2 Perhitungan kecepatan mobil

a. Asumsi pada saat *test drive* di unej dengan waktu 30 menit

Diketahui :

$$\text{Jarak (s)} = 1,150 \text{ km} \times 10 \text{ putaran}$$

$$= 11,5 \text{ km}$$

Waktu (t) = 30 menit = 0,5 jam Perhitungan :

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\frac{11,5 \text{ km}}{0,5 \text{ jam}}$$

$$= 23 \text{ km/jam}$$

a. Asumsi pada saat *test drive* di Unej

dengan waktu 30 menit Diketahui :

$$\text{Jarak (s)} = 0,95 \text{ km} \times 10 \text{ putaran}$$

$$= 9,5 \text{ km}$$

$$\text{Waktu (t)} = 30 \text{ menit} = 0,5 \text{ jam}$$

Perhitungan :

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\frac{9,5 \text{ km}}{0,5 \text{ jam}}$$

$$= 19 \text{ km/jam}$$

b. Asumsi pada saat di *test drive* di Unej dengan waktu 30 menit Diketahui:

$$\text{Jarak (s)} = 0,8 \text{ km} \times 10 \text{ putaran}$$

$$= 8 \text{ km}$$

$$\text{Waktu (t)} = 30 \text{ menit} = 0,5 \text{ jam}$$

Perhitungan:

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\frac{8 \text{ km}}{0,5 \text{ jam}}$$

$$= 16 \text{ km/jam}$$

A.3 Perhitungan Kecepatan sudut angular (ω) = $\frac{v}{K}$

$$1. 23 \text{ km/jam} = \frac{23 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} = \frac{383,3 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} = 300,4 \text{ rpm (300 rpm)}$$

$$2. 19 \text{ km / jam} = \frac{19 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} = \frac{316,6 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} = 248,17 \text{ rpm (250 rpm)}$$

$$3. 16 \text{ km/ jam} = \frac{16 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} = \frac{266,6 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} = 208,9 \text{ rpm (200 rpm)}$$

Lampiran B. Hasil data percobaan

Lampiran B.1 Pengujian 1

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6000 rs	NLGI 3	200	200	2,8
		250		3,6
		300		4,2
	SAE 10 w - 40	200		3,6
		250		4,6
		300		5,6
	Iso VG 15	200		3,8
		250		4,6
		300		5,2

Lampiran B.2 Pengujian 2

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6000 rs	NLGI 3	200	200	3,2
		250		3,4
		300		4,9
	SAE 10 w - 40	200		3,1
		250		4
		300		5,4
	Iso VG 15	200		4,4
		250		4,7
		300		6

Lampiran B.3 Pengujian 3

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6000 rs	NLGI 3	200	200	2,7
		250		2,9
		300		4,4
	SAE 10 w - 40	200		3,5
		250		4,3
		300		4,9
	Iso VG 15	200		3,5
		250		5,1
		300		5,3

Lampiran B.4 Pengujian 1

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6200 RS	NLGI 3	200	200	3,3
		250		3,1
		300		4,3
	SAE 10 w- 40	200		3,5
		250		3,7
		300		4,3
	Iso VG 15	200		3,9
		250		4,9
		300		6,6

Lampiran B.5 Pengujian 2

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6200 RS	NLGI 3	200	200	2,8
		250		2,9
		300		4,2
	SAE 10 w- 40	200		3
		250		4,2
		300		5,1
	Iso VG 15	200		4,3
		250		4,4
		300		6,1

Lampiran B.6 Pengujian 3

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6200 RS	NLGI 3	200	200	3,2
		250		3,6
		300		3,8
	SAE 10 w- 40	200		3,4
		250		3,8
		300		5,3
	Iso VG 15	200		3,8
		250		4,8
		300		6,5

Lampiran B.7 Pengujian 1

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6300 RS	NLGI 3	200	200	2,9
		250		3
		300		5,8
	SAE 10 w- 40	200		3
		250		3,6
		300		6
	Iso VG 15	200		2,7
		250		4
		300		6,5

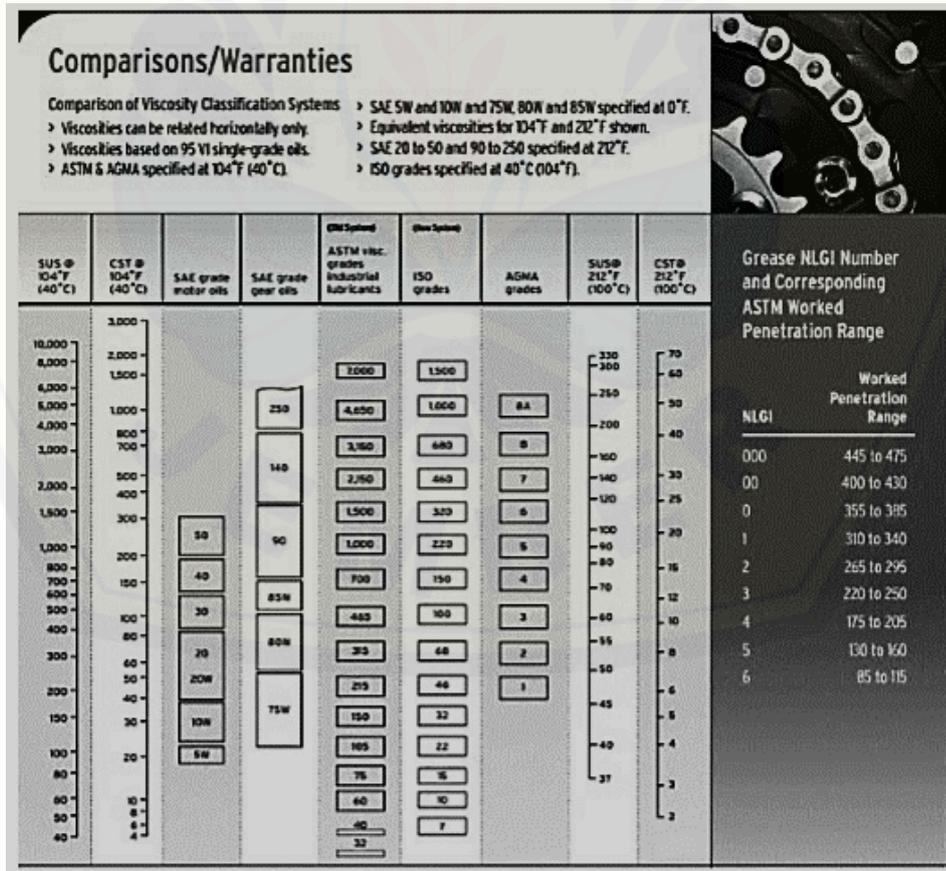
Lampiran B.8 pengujian 2

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6300 RS	NLGI 3	200	200	3,1
		250		3,5
		300		5,9
	SAE 10 w- 40	200		3,5
		250		3,8
		300		6,1
	Iso VG 15	200		3,2
		250		4,4
		300		6,9

Lampiran B.9 Pengujian 3

Bearing	pelumas	Putaran (rpm)	Beban (N)	Kecepatan (mm/s)
6300 RS	NLGI 3	200	200	3,6
		250		3,7
		300		6,6
		200		3,1
		250		3,4
		300		6,5
	SAE 10 w-40	200		3,4
		250		6,5
		300		3,4
		200		3,4
		250		4,5
		300		7

Lampiran C. Spesifikasi Viskositas Pelumas



Lampiran D. Foto Kegiatan Penelitian



Gambar D.1 Alat uji bearing



Gambar D.2 Proses pengujian



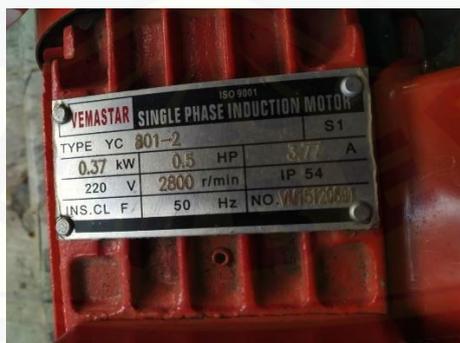
Gambar D.3 Set putaran dan hasil getaran



Gambar D.4 Rangkaian dimmer



Gambar D.5 Single row deep groove ball bearing



Gambar D.6 Spesifikasi motor



Gambar D.7 Spesifikasi Grease



Gambar D.8 Spesifikasi Oli



Gambar D.9 Spesifikasi minyak singer



Gambar D.10 Grease NLGI 3



Gambar D.11 Oli SAE 10W-40



Gambar D.12 Minyak singer ISO VG 15



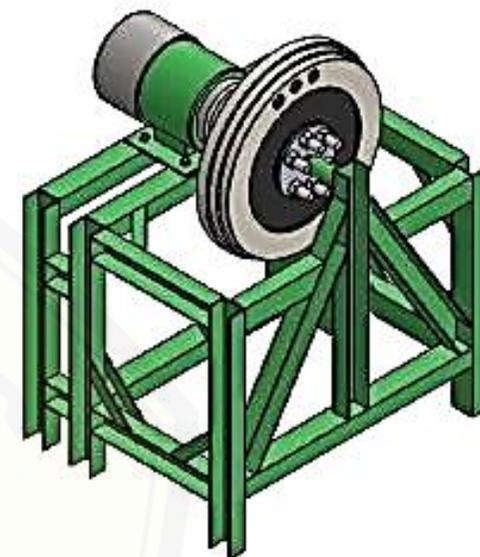
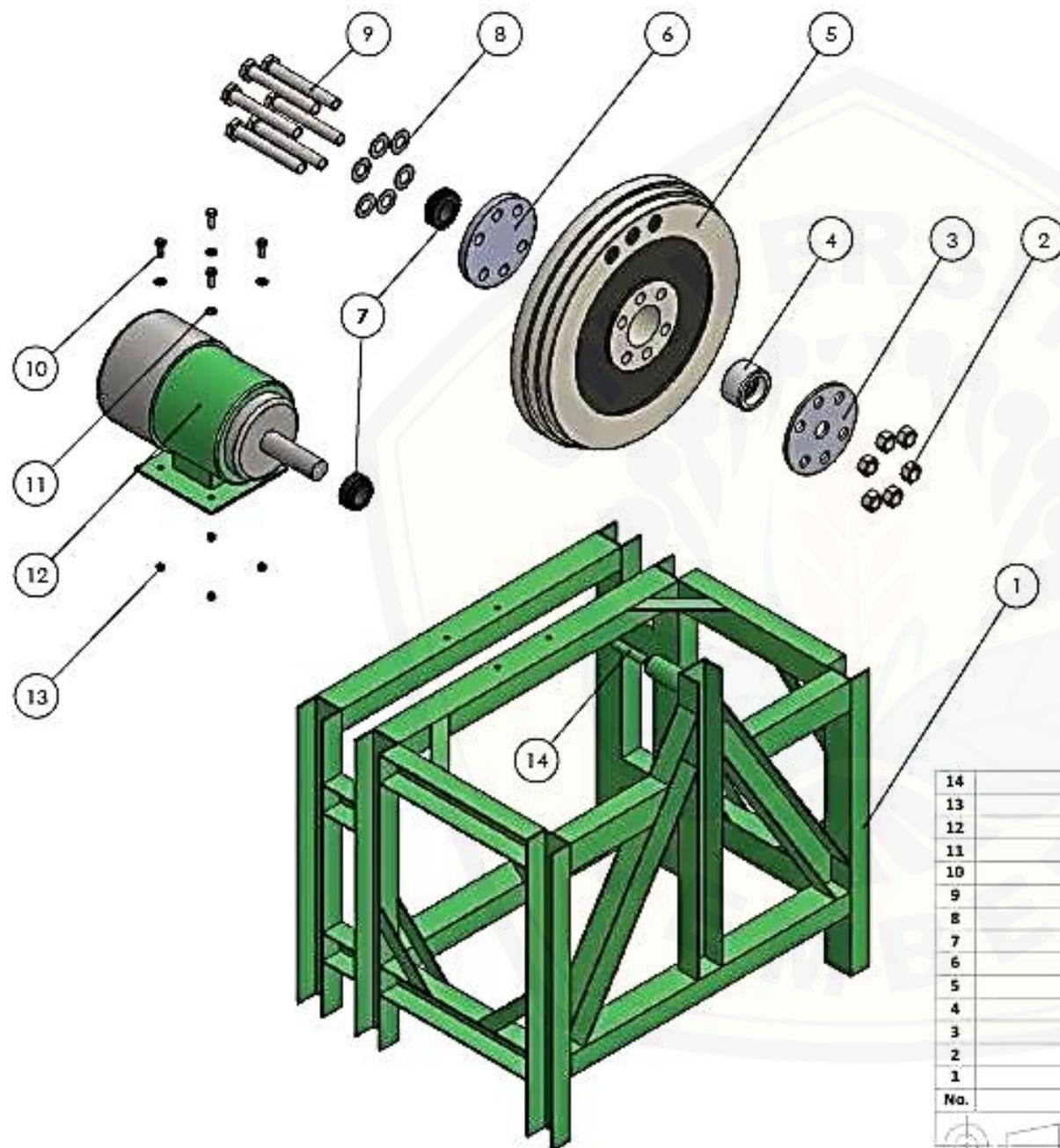
Gambar D.13 Pengukuran minyak oli



Gambar D.14 Pengukuran minyak singer



Gambar D.15 Tachometer



Assembly View
Skala 1 : 7

14	Poros	1	VCN AISI 4340
13	Mur M6	4	Steel
12	Motor Listrik	1	-
11	Ring M6	4	Steel
10	Baut M6	4	-
9	Baut M14	6	Steel
8	Ring M14	6	Steel
7	Clutch	1	Steel
6	Flens	1	-
5	Flywheel	1	Baja Heavy
4	Ball Bearing	1	Steel
3	Pelat	1	-
2	Mur M14	6	Steel
1	Rangka	1	ST - 37
No.	Nama Bagian	Jumlah	Bahan

	Skala : 1 : 5	Digambar :	Peringatan :
	Satuan : mm	NIM :	
	Tanggal :	Dilihat : -	