



ANALISIS GETARAN *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING* TERHADAP NILAI *ROLLING RESISTANCE*

SKRIPSI

Oleh
Shinta Arisanthi Dewi
NIM 171910101116

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**ANALISIS GETARAN *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING*
TERHADAP NILAI *ROLLING RESISTANCE***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Strata 1 Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

Shinta Arisanthi Dewi

NIM 171910101116

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

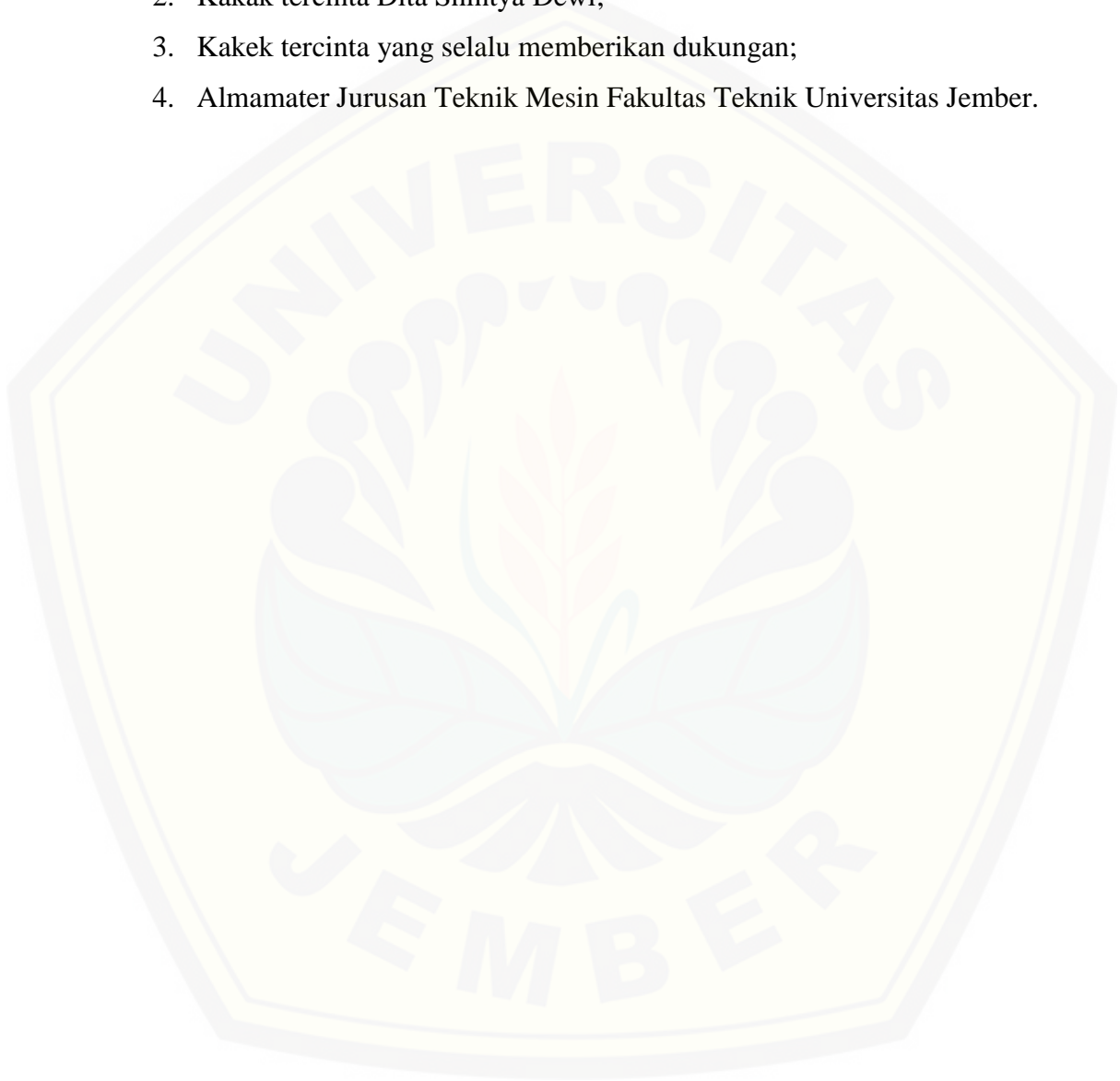
UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Proyek akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Mulyadi dan Ibu Eni Suswati (Almh);
2. Kakak tercinta Dita Shintya Dewi;
3. Kakek tercinta yang selalu memberikan dukungan;
4. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.



MOTTO

Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada kemudahan, karena itu bila kau telah
selesai (mengerjakan yang lain) dan kepada Tuhan, berharaplah
(Q.S Al Insyirah : 6-8)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shinta Arisanthi Dewi

NIM : 171903101116

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”Analisis getaran *Single Row Deep Groove Ball Bearings* terhadap Gaya *Rolling Resistance*” 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2019

Yang menyatakan,

Shinta Arisanthi Dewi

NIM 171903101116

SKRIPSI

**ANALISIS GETARAN *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING*
TERHADAP GAYA *ROLLING RESISTANCE***

Oleh :

Shinta Arisantthi Dewi

171903101116

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Santoso Mulyadi, S.T.,M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono, S.T.,M.T

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Getaran *Single Row Deep Groove Ball Bearings* terhadap Gaya *Rolling Resistance*”, karya Shinta Arisanthi Dewi telah diuji dan disahkan secara akademis pada:

hari, tanggal : 17 Januari 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Santoso Mulyadi, S.T.,M.T
NIP 19700228 199702 1 001

Hary Sutjahjono, S.T.,M.T
NIP 19681205 199702 1 002

Penguji I

Penguji II

Dr. Agus Triono, S.T.,M.T
NIP 19700807 200212 1 001

Dr. R. Koekoeh K.W. S.T.,M.Eng
NIP 19670708 199412 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Getaran *Single Row Deep Groove Ball Bearings* terhadap Gaya *Rolling Resistance* ; Shinta Arisanthi Dewi, 17190310116; 2019; 95 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kendaraan memiliki tingkat efisiensi yang berbeda karena masing-masing kendaraan memiliki perbedaan perancangan dan teknologi yang diterapkan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Juhala, (2014) massa, hambatan aerodinamis, dan *rolling resistance* memiliki peranan penting untuk meningkatkan kinerja sari suatu kendaraan. *Rolling resistance* merupakan tahanan terhadap roda yang akan dan telah menggelinding akibat adanya gaya gesek antara roda dengan permukaan jalan. Terdapat beberapa factor yang berpengaruh terhadap nilai *rolling resistance* yaitu permukaan jalan, berat kendaraan, bantalan dan transmisi serta permukaan kontur ban.

Bantalan (*bearing*) merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang berfungsi untuk menahan beban pada saat dua elemen mesin saling bergerak (Sularso, 1997). Setelah mengamati dan mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa banyak faktor yang mempengaruhi nilai *rolling resistance* salah satunya adalah bantalan. Penelitian ini menggunakan alat uji *rolling resistance* untuk mengukur nilai *rolling resistance* dan *Oscilloscope* atau *Propscope Parallax USB Oscilloscope* untuk membaca sinyal getaran.

Berdasarkan analisis dan pengolahan data, didapatkan bahwa nilai getaran pada masing-masing bantalan memiliki alur yang sama yaitu semakin besar putaran maka semakin besar pula nilai frekuensi dan kecepatan sudutnya. Nilai *rolling resistance* akan semakin meningkat saat beban dan diameter bantalan besar. Variabel putaran bantalan dan hasil waktu bantalan berputar sangat berpengaruh terhadap nilai *rolling resistance*. Hasil pengujian *rolling resistance* dari ketiga jenis bantalan, didapatkan nilai yang optimum dengan mengatur putaran bantalan sebesar 330 rpm dengan beban 200 N dan diperoleh gaya *rolling resistance* pada nomor bantalan 6000 sebesar 0,562 N, pada nomor bantalan 6200 sebesar 0,68 N, dan pada nomor bantalan 6300 sebesar 0,973 N.

SUMMARY

Analysis of Single Row Deep Groove Ball Bearings Vibration on Rolling Resistance; Shinta Arisanthi Dewi, 17190310116; 2019; 95 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

Vehicles have different efficiency levels because each vehicle has different design and technology applied. According to research conducted by Juhala, (2014) mass, aerodynamic barriers, and rolling resistance have an important role to improve the performance of the essence of a vehicle. Rolling resistance is resistance to wheels that will and have been rolled due to the friction between the wheel and the road surface. There are several factors that influence the rolling resistance values, namely road surface, vehicle weight, bearing and transmission and the contour surface of the tire.

Bearing (bearing) is one part of the engine element which functions to hold the load when two engine elements move together (Sularso, 1997). After observing and studying previous studies it can be concluded that many factors influence the value of rolling resistance, one of which is bearing. This study uses a rolling resistance test to measure the rolling resistance value and Oscilloscope or Propscope Parallax USB Oscilloscope to read vibration signals.

Based on the analysis and processing of data, it was found that the vibration value of each bearing has the same flow, namely the greater the rotation, the greater the value of frequency and angular velocity. The rolling resistance value will increase when the load and bearing diameter are large. Bearing rotation variables and spinning bearing time results greatly influence the rolling resistance value. Rolling resistance test results from the three types of bearings, obtained the optimum value by adjusting the bearing rotation by 330 rpm with a load of 200 N and obtained a rolling resistance force on the bearing number 6000 of 0.562 N, on the bearing number 6200 at 0.68 N, and on the number 6300 bearings of 0.973 N.

PRAKATA

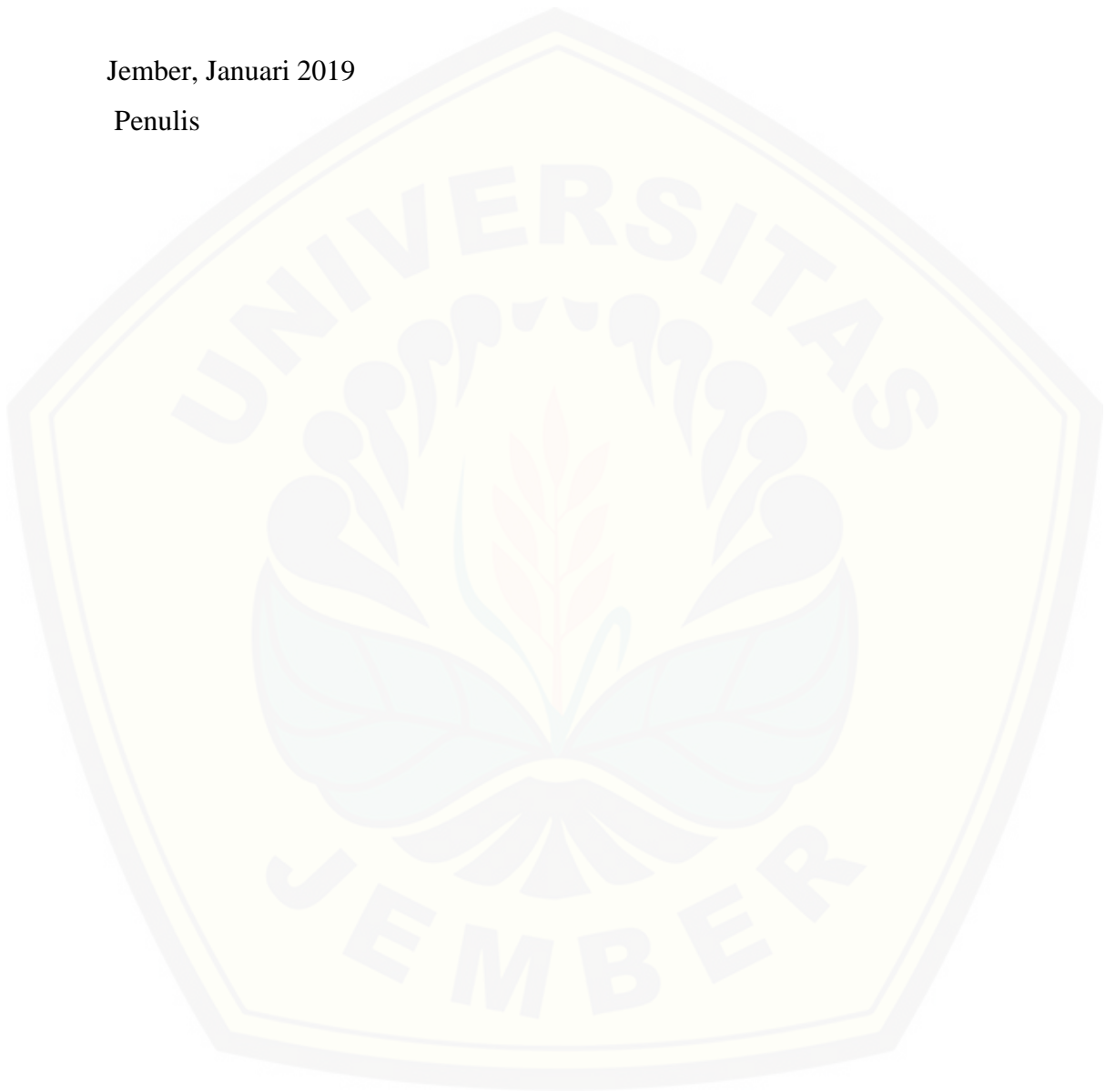
Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan hidayah dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis getaran *Single Row Deep Groove Ball Bearings* terhadap Gaya *Rolling Resistance*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Teknik Mesin (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Santoso Mulyadi, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Hary Sutjahjono, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah memberikan waktu, nasihat dan bimbingan sampai selesainya skripsi ini;
2. Bapak Dr. Agus Triono, S.T.,M.T, selaku Dosen Penguji I, dan Bapak Dr.R.Koekoeh K.W.,S.T.,M.Eng, selaku Dosen Penguji II, yang telah memberikan waktu, nasihat dan bimbingan sampai selesainya proyek akhir ini;
3. Dosen Pembimbing Akademik bapak Aris Zainul Muttaqin S.T.M.T, yang telah membimbing penulis dengan sabar selama masa studi;
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu sampai pada tahap penulis menyelesaikan skripsi;
5. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan fasilitas selama masa studi hingga menyelesaikan skripsi ini;
6. Semua teknisi dan karyawan jurusan teknik mesin, yang telah memberikan bantuan selama skripsi ini dilaksanakan;
7. Saudara Teknik Mesin, khususnya angkatan 2014, Alih Jenjang 2017, dan Desain 2017;
8. Teman-teman tim uji *rolling resistance* bantalan, yang telah membantu penulis dalam menyusun skripsi;

9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca demi kesempurnaan skripsi ini.

Jember, Januari 2019

Penulis

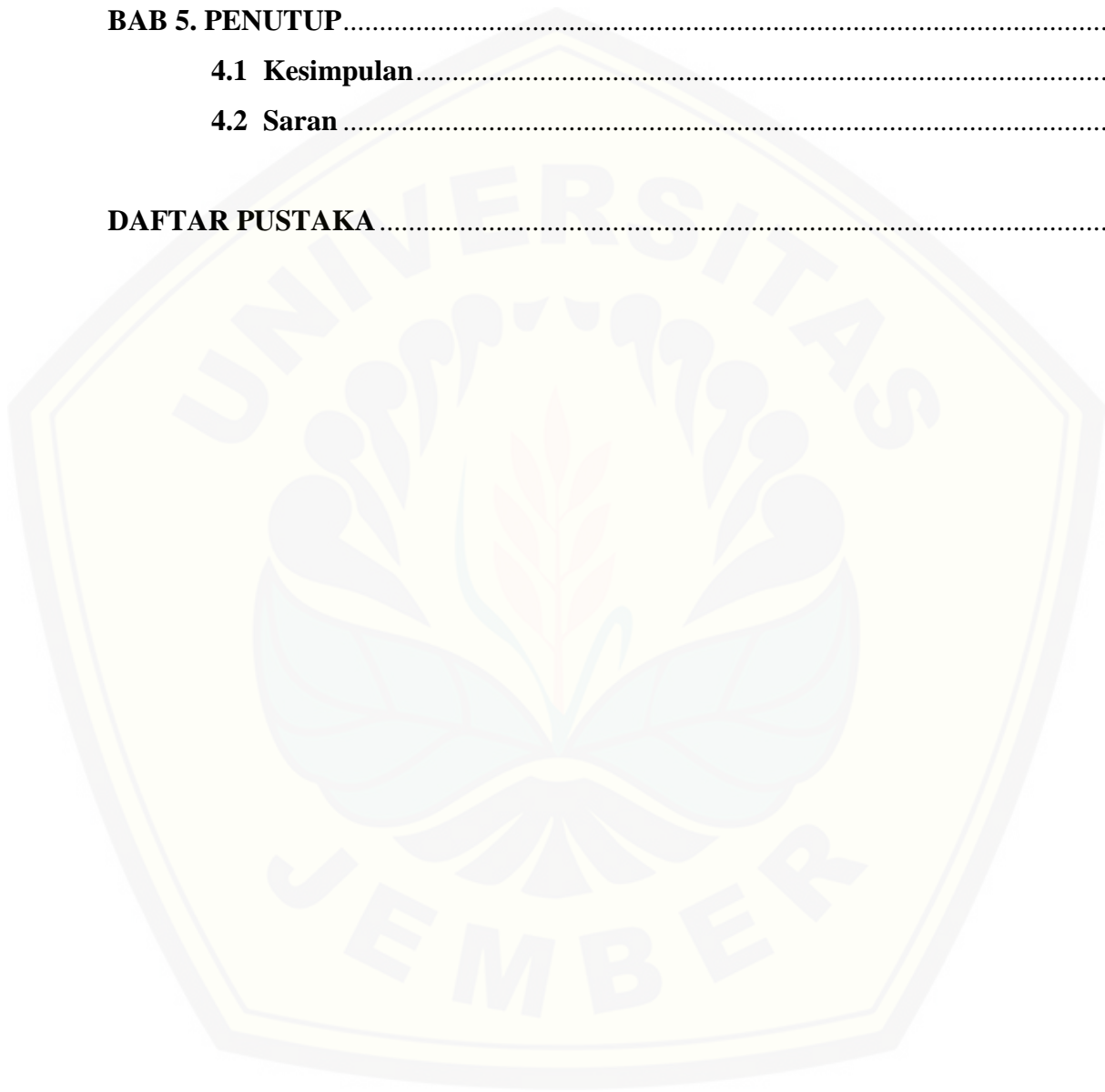


DAFTAR ISI

	<i>Halaman</i>
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan	4
1.4.2 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Getaran	6
2.1.1 Klasifikasi Getaran	6
2.1.2 Pengukuran Getaran	9
2.1.3 Analisis Sinyal Getaran	9
2.1.4 Gelombang.....	11
2.2 Bantalan	13

2.2.1	Klasifikasi Bantalan	14
2.2.2	<i>Single Row Deep Groove Ball Bearings</i>	18
2.3	Beban pada Bantalan	18
2.3.1	Beban radial bantalan (<i>radial loads</i>).....	19
2.3.2	Beban aksial bantalan (<i>axial loads</i>).....	19
2.4	Rolling Resistance	21
2.4.1	<i>Rolling Resistance</i> pada Bantalan	21
2.5	Pengujian <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing</i>	22
2.6	Hipotesa Penelitian	24
BAB 3.	METODE PENELITIAN	25
3.1	Metode Penelitian	25
3.2	Waktu dan Tempat	25
3.3	Alat dan Bahan	25
3.3.1	Alat	25
3.3.2	Bahan.....	28
3.4	Prosedur Penelitian	29
3.5	Pelaksanaan Penelitian	30
3.5.1	Variabel Penelitian	30
3.5.2	Pengambilan Data.....	30
3.5.3	Pengolahan Data.....	30
3.6	Diagram Alir Penelitian	32
BAB 4.	PEMBAHASAN	33
4.1	Data Hasil Pengujian Getaran	33
4.1.1	Respon Getaran Bebas.....	33
4.1.2	Perhitungan Kecepatan Sudut (ω).....	35
4.1.3	Data Hasil Pengujian Getaran Bantalan	35
4.2	Data Hasil Pengujian <i>Rolling Resistance</i> Bantalan	36
4.2.1	Perhitungan <i>Rolling Resistance</i>	37
4.2.2	Data Hasil Pengujian <i>Rolling Resistance</i> Bantalan.....	37

4.3 Analisa Hasil Penelitian	39
4.3.1 Analisis Putaran Bantalan	39
4.3.2 Analisis Gaya <i>Rolling Resistance</i>	40
BAB 5. PENUTUP	43
4.1 Kesimpulan	43
4.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44



DAFTAR TABEL

	<i>Halaman</i>
3.1 Spesifikasi bantalan.....	28
4.1 Data Respon Getaran Getaran pada Nomor Bnatalan 6200 putaran 290 rpm	35
4.2 Data Kecepatan Sudut Pengujian Getaran Horisontal	37
4.3 Data Kecepatan Sudut Pengujian Getaran Vertikal	37
4.4 Data Hasil Pengujian Gaya <i>Rolling Resistance</i> Bantalan (horizontal)	39
4.5 Data Hasil Pengujian Gaya <i>Rolling Resistance</i> Bantalan (vertikal)	39

DAFTAR GAMBAR

	<i>Halaman</i>
2.1 Pendulum Sederhana	6
2.2 Contoh Eksitasi Deterministik dan Random	7
2.3 Ilustrasi Siklus	8
2.4 Contoh Percepatan Waktu dan Frekuensi	10
2.5 Gelombang Transversal	11
2.6 Gelombang Longitudinal	12
2.7 Macam-Macam Bantalan Luncur	14
2.8 Macam-Macam Bantalan Gelinding	15
2.9 Arah Pembebanan	16
2.10 Contoh Bantalan Radial	16
2.11 Contoh Bantalan Aksial	17
2.12 Contoh Bantalan Gelinding Khusus	17
2.13 <i>Single Row Deep Groove Ball Bearings</i>	18
2.14 Penimbangan Beban Roda Belakang dan Roda Depan	19
2.15 Kondisi Ackerman Kendaraan Berbelok	20
2.16 Momen dan Gaya <i>Rolling Resistance</i>	21
2.17 Fenomena <i>Rolling Resistance</i>	22
3.1 Alat Uji <i>Rolling Resistance</i> Bantalan	25
3.2 Motor AC	26
3.3 Dimmer	27
3.4 Timbangan Digital	27
3.5 Tachometer	28
3.6 Propscope USB Oscilloscope	28
3.7 Bantalan	29
3.8 Diagram Alir	33
4.1 Tampilan <i>Propscope Parallax USB Oscilloscope</i>	33
4.2 Grafik Getaran Bebas	34
4.3 Grafik Putaran-kecepatan sudut (horizontal)	39

4.4	Grafik putaran-kecepatan sudut (vertikal)	39
4.5	Grafik Koefisien <i>rolling resistance</i> (horizontal)	41
4.6	Grafik Koefisien <i>Rolling Resistance</i> (vertikal).....	41
4.7	Grafik Gaya <i>rolling resistance</i> (horizontal)	42
4.8	Grafik Gaya <i>Rolling Resistance</i> (vertikal).....	42



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada kendaraan dan meningkatnya popularitas kendaraan akan menarik minat industri otomotif untuk mengembangkan teknologi kendaraan. Teknologi yang ditawarkan kendaraan modern yaitu aman, nyaman dan efisien. Dibutuhkan kendaraan masa depan ramah lingkungan yang tidak menghasilkan polusi karena efek gas buang. Kendaraan tersebut adalah mobil listrik.

Kendaraan memiliki tingkat efisiensi yang berbeda karena masing-masing kendaraan memiliki perbedaan perancangan dan teknologi yang diterapkan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Juhala, (2014) massa, hambatan aerodinamis, dan *rolling resistance* memiliki peranan penting untuk meningkatkan kinerja suatu kendaraan. Berdasarkan data dari New European Driving Cycle (NEDC), setiap kenaikan 10% dari bobot kendaraan akan menaikkan 4% kenaikan konsumsi energi, setiap kenaikan 10% dari *aerodynamic resistance* kendaraan akan menaikkan 1,5% kenaikan konsumsi energi dan setiap kenaikan 10% dari *rolling resistance* kendaraan akan menaikkan 1,8% kenaikan konsumsi energi. Faktor-faktor lain termasuk efisiensi konversi energi, yaitu mesin, transmisi dan kebiasaan mengemudi. Peran aerodinamis menjadi lebih penting sehingga kecepatan dapat meningkat, sebaliknya *rolling resistance* lebih penting digunakan pada kecepatan rendah. Peran transmisi sangat penting dalam kaitannya dengan efisiensi kendaraan dan dampaknya ada dua, yang pertama berkaitan dengan kerugian di saluran listrik dan berpengaruh pada penggunaan mesin.

Rolling resistance merupakan tahanan terhadap roda yang akan dan telah menggelinding akibat adanya gaya gesekan antara roda dengan permukaan jalannya roda. Pada dasarnya *rolling resistance* adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju. *Rolling resistance* memiliki dampak yang besar pada efisiensi kendaraan. Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap nilai *rolling*

resistance yaitu permukaan jalan, berat kendaraan, bantalan/*bearing* dan transmisi, serta permukaan kontur ban.

Bantalan (*bearing*) merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang berfungsi untuk menahan beban pada saat dua elemen mesin saling bergerak (Sularso, 1997). Setiap benda yang bergerak akan menimbulkan gesekan. Gerakan *bearing* saat bekerja didukung oleh *ball* atau *roller* yang terdapat diantara inner (cincin dalam) dan *outer* (cincin luar). Setiap gesekan yang terjadi akan mengurangi nilai dari tingkat efisiensi nilai dari tingkat efisiensi sehingga gaya *rolling* yang dibutuhkan sangat besar. Selain itu juga akan mempengaruhi umur pemakaian dari elemen tersebut. Besarnya gaya *rolling* yang terjadi tergantung pada besarnya koefisien gesek antara dua permukaan.

Menurut Orlandi (1988) bahwa getaran pada roda menyebabkan penurunan performa kendaraan baik pada permukaan jalan berpasir maupun rata. Namun pada permukaan berpasir lebih merugikan daripada permukaan rata. Penelitian ini juga memberikan hasil bahwa kinerja sebuah roda pada kendaraan mengalami keadaan yang berbeda di kondisi tanah/permukaan yang berbeda.

Menurut Wahyudi (2016) bahwa bantalan kondisi bagus memiliki amplitudo *velocity* dibawah 1.80 mm/s dan spektrum vibrasi FFT *velocity* dan FFT *demodulation of acceleration* yang tidak berimpitan dengan garis frekuensi impuls baik BPFI, BPFO dan BSF. Bantalan cacat 30% di lintasan dalam akan menghasilkan amplitudo *velocity* yang lebih tinggi dari bantalan dengan kondisi bagus dan spektrum vibrasi FFT *velocity* dan FFT *demodulation of acceleration* dengan garis puncak frekuensi berimpitan dengan BPFI. Bantalan yang cacat 30% di lintasan luar dan di *rolling element* akan menghasilkan spektrum vibrasi FFT *velocity* dan FFT *demodulation of acceleration* dengan garis puncak frekuensi berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi impuls BPFO dan BSF.

Menurut Kulkarni dkk, (2016) bahwa ada peningkatan amplitudo puncak getaran ketika ukuran cacat meningkat. Dalam proses berputarnya *ball* pada alur bantalan akan mengakibatkan elemen-elemen struktural yang berinteraksi akan mengakibatkan getaran, yang pada akibatnya akan menyebabkan kebisingan, keausan dan *rolling resistance*.

Menurut Eddy dkk., (2014) bahwa menganalisa gelombang getaran yang ditimbulkan pada bantalan luncur (*sliding bearing*) dengan pengaruh kecepatan aliran dan kekentalan pelumasan memiliki hasil yang berbeda. Pada dua kondisi pelumasan dapat menyimpulkan bahwa bantalan luncur yang menggunakan kondisi pelumas SAE 40 getarannya jauh lebih kecil daripada yang menggunakan pelumas SAE 30 dengan nilai amplitudo pada SAE 30 mencapai puncak peak amplitudo pada 14,375 m/s² sedangkan pada SAE 40 hanya mencapai 9,108 m/s². Hasil kegiatan eksperimen disbanding dengan hasil teoritis memiliki penyimpangan kurang dari 10%.

Menurut Fitoyo (2017) bahwa berdasarkan analisis dari pengolahan data menggunakan software minitab 16, didapatkan nilai gaya *rolling resistance* akan semakin meningkat dengan bertambahnya gaya dari luasan kontak pada *ball bearing* dan besarnya momen inersia serta *bearing* akan mengalami kerugian ketika mendapatkan putaran yang terlalu tinggi. Pada bearing 6200 dan 6201 semua variabel prediktor mempunyai pengaruh lebih besar terhadap gaya *rolling resistance*. Sedangkan pada bearing 628 untuk variabel kecepatan putar *bearing* mempunyai pengaruh yang sangat kecil. Pada analisis yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa secara individu variabel proses yang paling berpengaruh terhadap gaya *rolling resistance* adalah beban radial.

Setelah mengamati dan mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa banyak factor yang mempengaruhi nilai *rolling resistance* salah satunya adalah bantalan/*bearing*. Maka dari itu perlunya dilakukan penelitian yang lebih mendalam tentang permasalahan ini untuk mengoptimalkan penggunaan bantalan/*bearing* yang sesuai dengan kebutuhan mobil listrik Titen, dengan harapan dapat meminimalisir nilai *rolling resistance*. Penulis bermaksud meneliti pengaruh getaran dengan bervariasi jenis bantalan yang akan dilakukan pengujian. Penelitian ini menggunakan alat uji *rolling resistance* untuk mengukur nilai *rolling resistance* dan *Oscilloscope* atau *Propscope Parallax USB Oscilloscope* untuk membaca sinyal getaran. Diharapkan penelitian skripsi dengan judul “Analisis Getaran *Single Row Deep Groove Ball Bearing* terhadap *Rolling Resistance*” dapat menjadi suatu kajian yang bermanfaat dan sesuai dengan kebutuhan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan , dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana getaran yang dihasilkan oleh masing-masing bantalan?
2. Bagaimana hasil analisa pada masing-masing bantalan terhadap nilai *rolling resistance*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam menyusun tugas akhir ini agar tidak meluasnya permasalahan yang akan dibahas maka perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah dalam penulisan laporan ini adalah :

1. Tidak membahas tipe bantalan lain ,hanya membahas *Single row deep groove ball bearing*.
2. Tidak membahas material bantalan selain material logam.
3. Tidak membahas mengenai umur pemakaian, pelumasan, cacat produk, gaya gesek serta biaya pemakaian.
4. Semua komponen alat diasumsikan satu *body*.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui getaran yang dihasilkan oleh masing-masing nomor bantalan..
2. Untuk mengetahui hasil analisa pada masing-masing bantalan terhadap nilai *rolling resistance* .

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah

1. Dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.
2. Sebagai pengembangan teknologi.

3. Dapat memberi saran atau masukan pada tim mobil listik untuk perbaikan performa.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Getaran

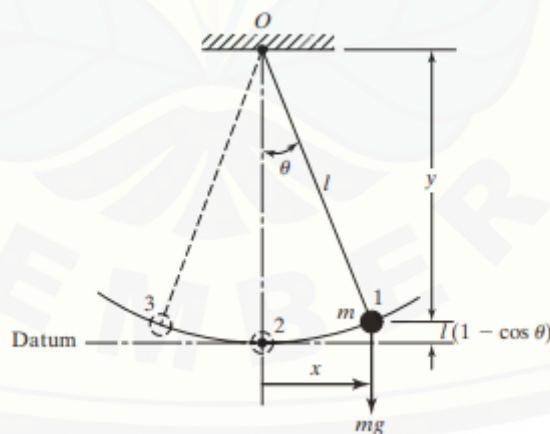
Getaran adalah gerakan yang berulang dengan sendirinya setelah selang waktu. Berayunnya bandul dan gerakan tali yang dipetik adalah contoh dari getaran. Teori getaran berkaitan dengan studi gerakan tubuh dan kekuatan yang terkait dengan mereka (Rao, 2011).

2.1.1 Klasifikasi Getaran

Getaran menurut Rao, 2011 dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian yaitu :

a. Getaran bebas dan getaran paksa

Getaran bebas terjadi jika suatu sistem, setelah gangguan awal dibiarkan bergetar dengan sendirinya, getaran berikutnya tersebut dikenal sebagai getaran bebas. Atau bisa dikatakan tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem. Contoh getaran bebas yaitu pendulum sederhana, dapat dilihat pada Gambar 2.1. Getaran paksa terjadi jika sistem dikenakan kekuatan eksternal yang mempengaruhi (Rao, 2011)



Gambar 2.1 Pendulum sederhana
(Sumber: Rao, 2011)

b. Getaran teredam dan getaran tidak teredam

Getaran teredam terjadi jika ada energi yang hilang selama osilasi, sedangkan getaran tidak teredam terjadi jika tidak ada energi yang hilang saat

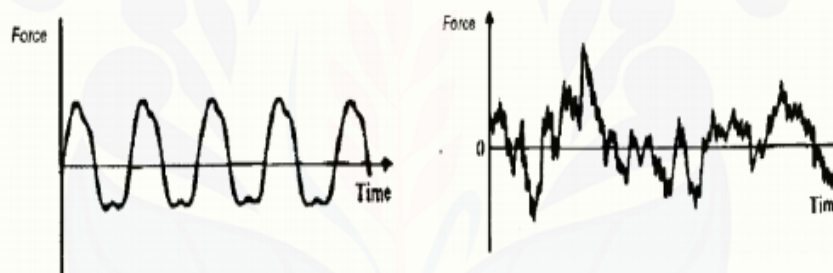
osilasi. Pertimbangan redaman sangat penting dalam menganalisis sistem getar dekat resonansi (Rao, 2011).

c. Getaran linear dan getaran tidak linear

Getaran linier terjadi saat semua komponen sistem bergerak secara linear, dimana pegas, massa dan peredam berperilaku linear. Sedangkan getaran tidak linear terjadi saat semua komponen sistem bergerak non-linear. Contoh dari getaran non-linear adalah getaran dampak (Rao, 2011).

d. Getaran deterministik dan getaran random

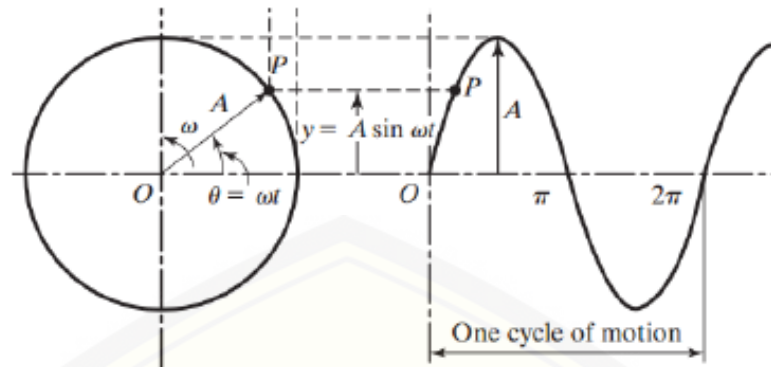
Getaran deterministik adalah getaran yang memiliki harga eksitasi yang selalu diketahui, sedangkan getaran random atau acak adalah getaran yang memiliki harga eksitasi yang tidak dapat diperkirakan. Contoh eksitasi getaran deterministik dan getaran random terlihat pada Gambar 2.2 (Rao, 2011).



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

Beberapa istilah penting yang terdapat pada getaran, diantaranya (Rao, 2011) :

a. Siklus (cycle) adalah perpindahan benda dari posisi awal (equilibrium) ke posisi puncak (ekstreme) salah satu arah, kemudian bergerak ke arah berlawanan dan kembali ke posisi awal. Ilustrasi siklus terlihat pada Gambar 2.3 (Rao, 2011).



Gambar 2.3 Ilustrasi siklus
(Sumber: Rao, 2011)

- b. Amplitudo (A) merupakan simpangan yang terbesar dari posisi kesetimbangan, satuan meter (m).
- c. Periode (T) adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu lintasan bolak-balik (siklus), dengan satuan detik (s). Periode dirumuskan seperti pada persamaan 2.1.

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

Dengan :

t : waktu (s)

n : jumlah siklus

- d. Frekuensi adalah jumlah siklus per satuan waktu, satuan frekuensi adalah Hz. Frekuensi dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.2.

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

Dimana τd pada saat pengukuran memiliki satuan mili detik (ms), maka frekuensi dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.3.

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

- e. Frekuensi natural

Frekuensi natural adalah apabila suatu sistem setelah menerima rangsangan dibiarkan 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 :

$$\omega n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 2.4$$

$$fn = \frac{1}{T} \quad 2.5$$

$$fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 2.6$$

Dengan :

ωn : Frekuensi natural (rad/s)

fn : Frekuensi natural (Hz)

k : Kekakuan (N/m)

m : Massa (kg)

2.1.2 Pengukuran Getaran

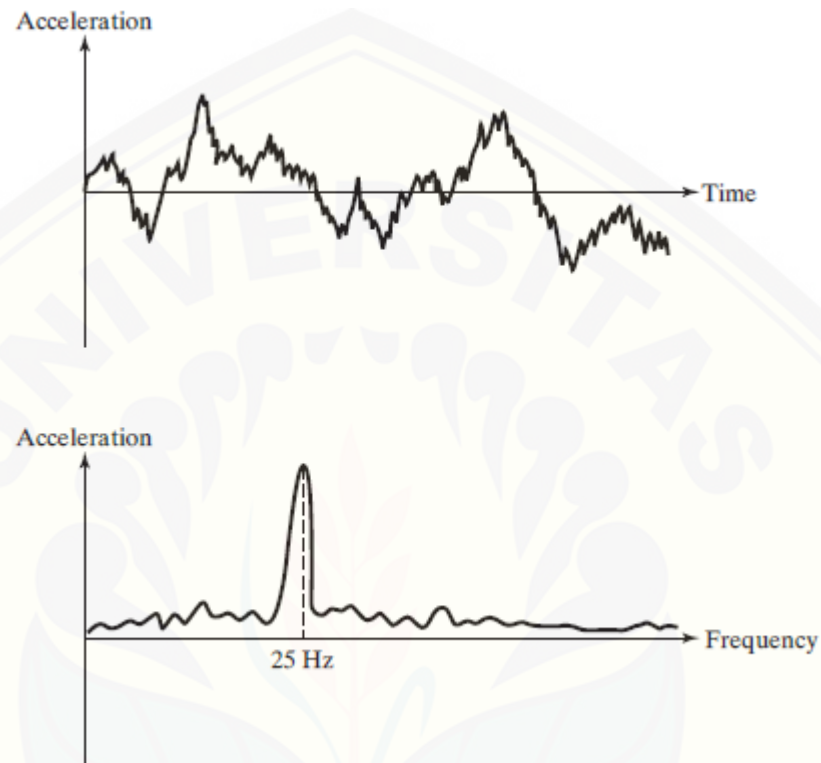
Pengukuran parameter-parameter getaran sangat penting dalam berbagai penerapan. Besaran eksperimen yang diperlukan itu mungkin berupa kecepatan (*velocity*), percepatan (*acceleration*) atau amplitude getaran (*vibration amplitude*) Besaran-bearan ini sangat berguna dalam meramalkan kegagalan lelah atau 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 energy terkonsentrasi. Jika karakteristik dinamis komponen individu dari sistem dapat diketahui, maka komponen frekuensi (dari respon frekuensi) dapat dihubungkan ke komponen tertentu (Rao, 2011).

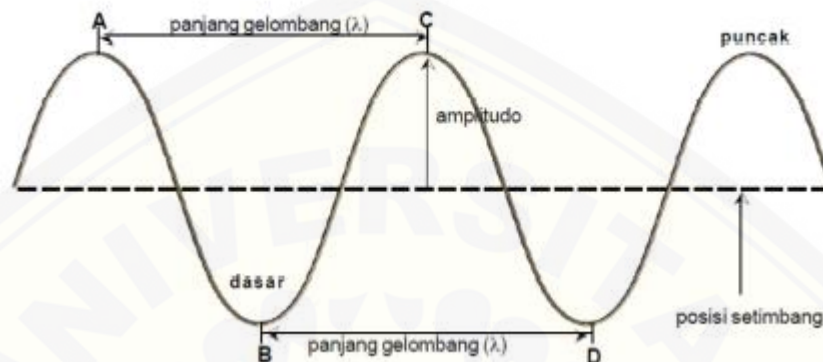


Gambar 2.4 Contoh Percepatan waktu dan frekuensi
(Sumber: Rao, 2011)

Contohnya, jika riwayat waktu akselerasi dari obyek yang dikenakan getaran berlebihan mungkin 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 demikian 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: Contextual Teaching and Learning IPA SMP Depdiknas)

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

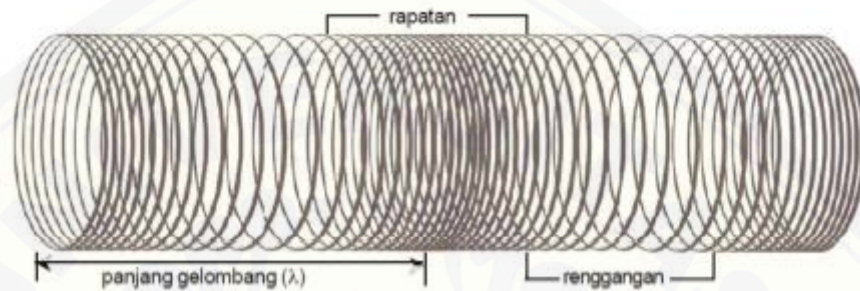
a. Gelombang transversal

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 energy yang dibawa oleh gelombang tersebut. Gelombang yang membawa energy yang besar mempunyai amplitudo yang besar pula.

b. Gelombang longitudinal

Gelombang longitudinal merupakan gelombang yang arah getarnya searah dengan arah perambatannya. Gelombang longitudinal terbentuk ketika terjadi getaran pada medium yang arahnya searah dengan arah rambatnya sehingga pada gelombang longitudinal terbentuk pola rapatan dan renggangan. Gelombang longitudinal ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gelombang longitudinal
(Sumber: Contextual Teaching and Learning IPA SMP Depdiknas)

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, energy 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:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad 2.8$$

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 .

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

Dengan :

y : Simpangan gelombang (m)

A : Amplitudo atau simpangan maksimum (m)

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

t : Lamanya getaran (s)

oleh karena persamaan 2.10 berikut :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad 2.10$$

Maka persamaan simpangan 2.9 dapat ditulis menjadi persamaan 2.11 berikut :

$$y = A \sin \omega t = A \sin \left(2\pi \frac{t}{T} \right) \quad 2.11$$

Atau menjadi :

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

Dengan:

φ : $2\pi \frac{t}{T}$ = sudut fase gelombang

2.2 Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja seperti mestinya (Sularso, 1997).

2.2.1 Klasifikasi Bantalan

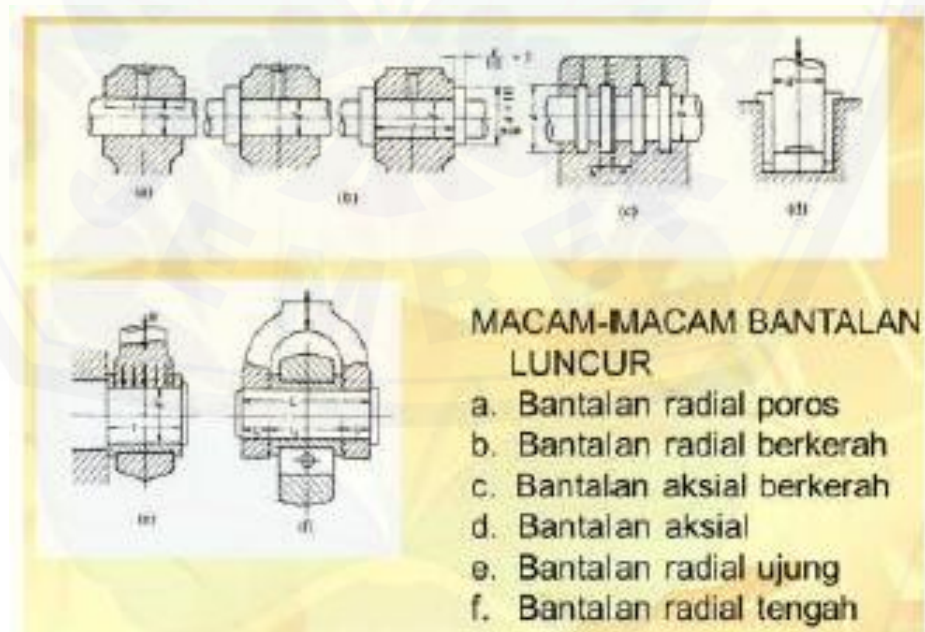
Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sularso, 1997):

a. Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros.

1) Bantalan luncur

Bantalan luncur sering disebut dengan *slider bearing* atau *plain bearing* yang menggunakan mekanisme *sliding*, dimana dua permukaan komponen saling bergerak relatif. Diantara kedua permukaan terdapat pelumas sebagai fungsi untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan.

Bantalan ini mampu menumpu poros putaran tinggi dengan beban besar. Bantalan ini sederhana konstruksinya dan dapat dibuat serta dipasang dengan mudah. Karena gesekannya yang besar pada waktu mulai jalan, bantalan luncur memerlukan momen awal yang besar. Pelumasan pada bantalan ini tidak begitu sederhana. Panas yang timbul dari gesekan yang besar, terutama pada beban besar memerlukan pendinginan khusus, dengan demikian, karena lapisan pelumas, bantalan ini dapat meredam tumbukan dan getaran sehingga hampir tidak bersuara. Tingkat ketelitian yang diperlukan tidak setinggi bantalan gelinding sehingga *cost* nya dapat lebih rendah. Macam-macam bantalan luncur ditunjukkan pada Gambar 2.7 berikut (Sularso, 1997).



Gambar 2.7 Macam-macam bantalan luncur
(Sumber : Sularso, 1997)

2) Bantalan gelinding

Bantalan gelinding pada umumnya lebih cocok untuk beban kecil daripada bantalan luncur, tergantung pada bentuk elemen gelindingnya. Putaran pada bantalan ini dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut. Karena konstruksinya yang sukar dan ketelitiannya yang tinggi, maka bantalan gelinding hanya dapat dibuat oleh pabrik-pabrik tertentu saja (Sularso, 1997).

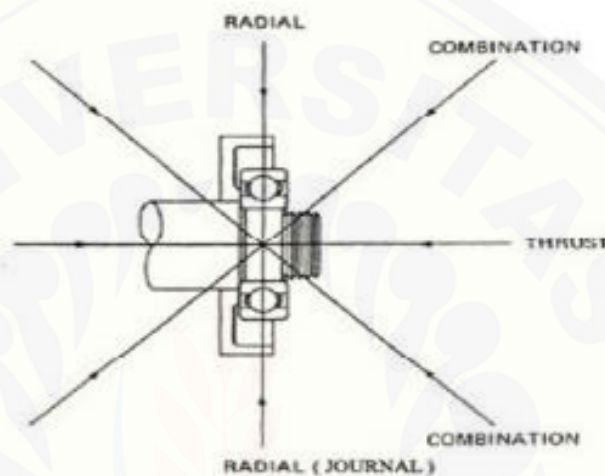
Bantalan gelinding mempunyai keunggulan yaitu pada gesekan gelinding yang sangat kecil dibandingkan dengan bantalan luncur. Elemen gelinding seperti bola dan rol, dipasang diantara cincin luar dan cincin dalam. Dengan memutar salah satu cincin tersebut, bola atau rol akan membuat gerakan gelinding sehingga gesekan diantaranya jauh lebih kecil. Karena luas bidang kontak antara bola atau rol dengan cincinnya sangat kecil maka besarnya per satuan luas atau tekanannya menjadi sangat tinggi. Bantalan gelinding dapat diklasifikasikan seperti pada Gambar 2.8 berikut (Sularso, 1997).



Gambar 2.8 Macam-macam bantalan gelinding
(Sumber: Sularso, 1997)

Bantalan bola dan rol silinder mempunyai gesekan yang relative kecil dibandingkan dengan bantalan macam lain. Kemampuan bantalan ini terhadap bunyi dan getaran dipengaruhi oleh konstruksi bantalan itu sendiri. Faktor lain yang mempengaruhi adalah ketelitian pemasangan, konstruksi mesin dan kelonggaran bantalan. Bunyi atau getaran adalah pengaruh gabungan dari berbagai factor.

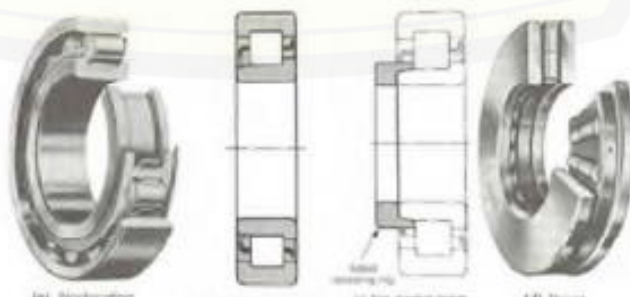
b. Berdasarkan arah beban terhadap poros



Gambar 2.9 Arah pembebanan
(Sumber: Erinofiardi, 2011)

1) Bantalan radial

Bantalan radial atau disebut *journal bearing*, dimana arah beban yang ditumpu bantalan adalah tegak lurus terhadap sumbu poros. Bantalan ini untuk mendukung gaya radial dari poros saat berputar. Bantalan yang dirancang khusus untuk menerima beban radial diantaranya adalah bantalan *roller* dengan tipe NU, N, *needle*, dan *toroida*.



Gambar 2.10 Contoh bantalan radial
(Sumber: Erinofiardi, 2011)

2) Bantalan aksial

Bantalan aksial atau *thrust bearing*, dimana arah beban yang ditumpu adalah sejajar dengan sumbu poros. Bantalan yang konstruksinya dapat mendukung untuk beban aksial diantaranya yaitu *thrust ball bearing*. Sedangkan untuk beban aksial pada kecepatan tinggi dapat menggunakan tipe *angular contact thrust ball bearings*



Gambar 2.11 Contoh bantalan aksial
(Sumber: Erinofiardi, 2011)

3) Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini mampu menumpu beban sejajar dan tegak lurus sumbu poros. Sebuah beban gabungan terdiri dari beban radial dan aksial secara bersamaan. Kemampuan bantalan untuk mengakomodasi beban aksial ditentukan oleh sudut kontak. Semakin besar sudut, semakin tinggi beban aksial daya dukung bantalan. Bantalan yang konstruksinya mendukung untuk menahan beban gabungan diantaranya *single row angular contact ball bearings* dan *double row angular contact ball bearings*.



Gambar 2.12 Contoh bantalan gelinding khusus
(Sumber: Erinofiardi, 2011)

2.2.2 *Single Row Deep Groove Ball Bearings*

Single row deep groove ball bearing adalah jenis bantalan yang paling umum dari bantalan kontak bergulir. Tipe bantalan ini dapat menahan beban aksial maupun beban radial. Beban aksial adalah beban yang searah sumbu poros, sedangkan beban radial adalah beban yang tegak lurus terhadap sumbu poros. Di bawah beban radial, kontak antara bola dan alur adalah sepanjang garis vertikal. Cincin berada sedikit dibawah beban aksial dan bola bergulir dalam kontak dengan dinding sisi alur. Pada umumnya bantalan ini digunakan untuk mendukung poros di *gearbox* (SKF,2013).



Gambar 2.13 *Single Row Deep Groove Ball Bearings*
(Sumber: Erinofiardi, 2011)

2.3 **Beban pada Bantalan**

Beban yang bekerja pada bantalan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu beban radial, beban aksial dan beban gabungan (radial-aksial). Besarnya beban merupakan salah satu faktor yang biasanya digunakan untuk menentukan ukuran bantalan. Rancangan konstruksi bantalan akan disesuaikan dengan beban yang diterima bantalan saat beroperasi. Umumnya bantalan dengan tipe *roller* lebih mendukung untuk digunakan pada beban yang berat dibandingkan bantalan pada tipe bola. Sehingga dalam hal ini bantalan dibedakan konstruksinya menjadi beberapa tipe sesuai beban yang diterima.

2.3.1 Beban radial bantalan (*radial loads*)

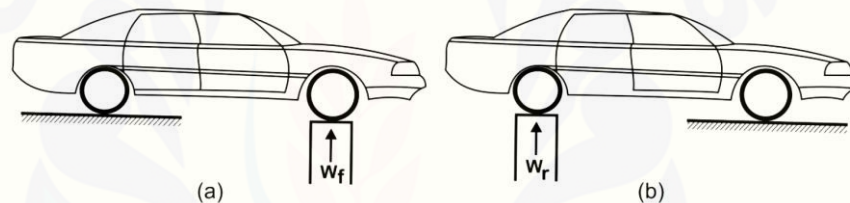
Beban radial pada bantalan (diasumsikan pada kendaraan) memiliki arah tegak lurus dengan sumbu poros roda. Pada kendaraan, beban radial ini diperoleh dari berat kendaraan yang dapat diukur pada masing-masing roda kendaraan. Pengukuran titik berat kendaraan dilakukan dengan menimbang bagian depan dan bagian belakang kendaraan pada posisi horisontal, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14 Nilai dari berat total kendaraan dapat dirumuskan seperti persamaan 2.13 berikut (Sutantra, 2010) :

$$W_t = W_f + W_r = W \quad 2.13$$

Dengan :

W_f : berat poros depan

W_r : berat poros belakang

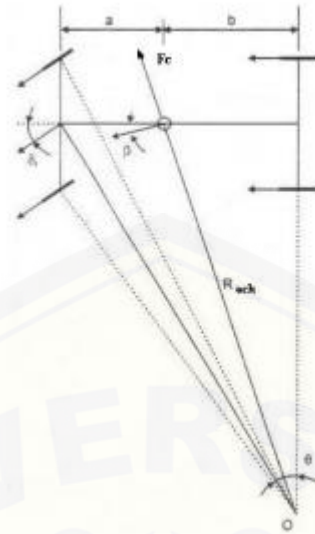


Gambar 2.14 Penimbangan beban roda depan dan roda belakang
(Sumber: Sutantra, 2010)

Dengan keterangan gambar : dua roda depan dan dua roda belakang

2.3.2 Beban aksial bantalan (*axial loads*)

Beban aksial pada kendaraan terjadi saat kendaraan mengalami beban dari samping atau beban yang searah dengan sumbu poros. Beban aksial dapat diasumsikan terjadi saat kendaraan mengalami belok, dimana arah pembebanannya sejajar dengan sumbu poros roda. Kondisi ideal dari kendaraan belok adalah disebut juga dengan kondisi *ackerman* yaitu dimana pada semua roda tidak terjadi sudut slip, sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda. Lihat pada Gambar 2.9. Beban aksial yang terjadi pada bantalan kendaraan diperoleh dari hasil perhitungan gaya kesamping (*gaya centrifugal*) yang diterima kendaraan yang kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah roda yang dimiliki kendaraan (Sutantra, 2010).



Gambar 2.15 Kondisi *ackerman* kendaraan berbelok
(Sumber: Sutantira, 2010)

Keterangan gambar :

O : pusat putar sementara

R_{ack} : radius belok ideal *ackerman*

θ : sudut belok ideal

β : sudut *side slip* kendaraan

δf : sudut *steer* rata-rata dari roda depan

Rumus dari gaya dinamis *centrifugal*, dirumuskan seperti pada persamaan 2.14.

$$F_c = W \frac{v^2}{r_n} \quad 2.14$$

Dengan :

F_c : gaya *centrifugal* (N)

W : berat kendaraan (kg)

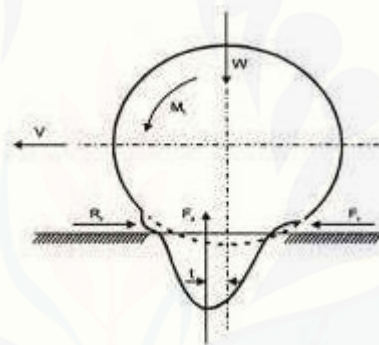
v : kecepatan kendaraan (m/s^2)

R_n : radius belok kendaraan (m)

2.4 Rolling Resistance

Rolling resistance yang terjadi pada ban utamanya disebabkan oleh sifat histerisis ban karena adanya defleksi dari ban. Akibat adanya defleksi ban pada saat *rolling* dan sifat material ban yang tidak cepat dapat kembali setelah defleksi, maka defleksi di depan sumbu y tidak simetris dengan di belakang sumbu y . Hal ini mengakibatkan reaksi gaya normal pada ban terkonsentrasi di depan sumbu y sejarak *pneumatic trail* (tp), seperti pada Gambar 2.16. Jika gaya normal dari jalan pada ban sebesar (Fz), maka terjadi momen *rolling resistance* yang dapat melawan atau menghambat gerakan ban. Momen *rolling resistance* (M_{RR}) dapat dirumuskan seperti persamaan 2.15 (Sutantra, 2010).

$$M_{RR} = Fz \cdot tp \quad 2.15$$



Gambar 2.16 Momen dan gaya rolling resistance
(Sumber: Sutantra, 2010)

Ada dua momen yang bekerja pada roda penggerak yaitu momen penggerak (M_t) dan momen *rolling resistance* (M_{RR}). Kedua momen tersebut dapat diterjemahkan ke dalam gaya dorong (F_t) dan gaya hambatan *rolling resistance* (R_r) (Sutantra, 2010)

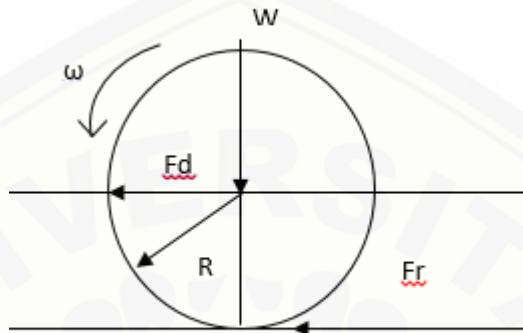
Ada banyak faktor yang mempengaruhi besarnya *rolling resistance* pada ban diantaranya adalah : konstruksi dari ban, ketebalan dan sifat karet ban serta gaya longitudinal pada ban. Gaya tahanan atau *rolling resistance* umumnya ditunjukkan dalam bentuk koefisien *rolling resistance* (f_r) (Sutantra, 2010).

2.4.1 Rolling Resistance pada Bantalan

Rolling resistance (F_r) adalah momen yang digunakan elemen *rolling* untuk melawan arah gerakan, bernilai sama dengan yang dibutuhkan untuk menggerakkan bantalan. Gambar 2.17 berikut menunjukkan bahwa bantalan mendapatkan gaya

sebesar beban yang diterima dan diasumsikan sebagai berat kendaraan (W). R adalah radius elemen *rolling* dari bantalan.

Fenomena *rolling resistance* digambarkan seperti Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Fenomena *rolling resistance* (George, 1999)

Keterangan gambar :

- W : Beban
- Fr : Gaya *rolling resistance* (N)
- Fd : Gaya hambat (N)
- R : Radius *ball* (m)
- ω : Kecepatan sudut (rad/s)

2.5 Pengujian *Rolling Resistance*

Dengan menggunakan metode ekperimental, didapatkan teori bahwa gaya *rolling resistance* merupakan hasil perhitungan gaya hambat (Fd) yang terjadi pada elemen bantalan dengan menghasilkan nilai nilai torsi dan gaya angkat yang dipenagruhi oleh gaya gravitasi pada *flywheel*. *Flywheel* merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk gerak rotasi pada poros. *Rolling resistance* dihitung dengan nilai yang diperoleh dari pengujian bantalan setelah diberi pada variasi pembebanan dan variasi putaran poros. Gaya hambat Fd pada

bantalan dikarenakan adanya torsi pada pada sumbu rotasi motor. Untuk mencari torsi lihat persamaan 2.17 seperti berikut (Abrahamsen, 2001) :

$$T = Rd \times Fd = I \frac{\omega}{t} \quad 2.17$$

Dengan :

T : Torsi (Nm)

Rd : Jari-jari *inner* bantalan (m)

Fd : Gaya hambat (N)

I : Momen Inersia (kg.m²)

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

t : waktu (s)

Momen inersia pada persamaan 2.17 merupakan momen inersia *flywheel*.

Pada persamaan 2.18 berikut dituliskan rumus momen inersia *flywheel*.

$$I = \frac{1}{2} M (R_2^2 + R_1^2) \quad 2.18$$

Dengan :

M : massa *flywheel* (kg)

R2 : Jari-jari *flywheel* (m)

R1 : Jari-jari *outer* bantalan (m)

Koefisien *rolling resistance* (Cr), dihitung dengan membagi gaya hambat dengan beban terhadap gaya gravitasi. Lihat pada persamaan 2.19.

$$Cr = \frac{Fd}{W} \quad 2.19$$

Dengan :

Cr : Koefisien *rolling resistance*

W : Beban (N)

Dimana beban pada bantalan dapat dihitung dengan persamaan 2.20 seperti berikut :

$$W = m \cdot g \quad 2.20$$

Dengan :

m : massa *flywheel* (kg)

g : Gaya gravitasi (m/s²)

Dengan menggabungkan persamaan-persamaan diatas , maka didapatkan perhitungan C_r seperti pada persamaan 2.21.

$$C_r = \frac{1}{2} \frac{(R_2^2 + R_1^2) \omega}{g \cdot R \cdot d \cdot t} \quad 2.21$$

Dengan :

R_2 : Jari-jari *flywheel* (m)

R_1 : Jari-jari *outer* bantalan (m)

g : gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

Gaya *rolling resistance* merupakan perhitungan dari nilai koefisien *rolling resistance* (C_r) yang terjadi pada elemen bantalan dengan beban (W) yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi pada *flywheel*. Untuk mencari nilai gaya *rolling resistance* menggunakan rumus pada persamaan 2.22.

$$F_r = C_r \cdot W \quad 2.22$$

Dengan :

F_r : Gaya *rolling resistance* (N)

W : Beban (N)

2.6 Hipotesa

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan didapatkan hipotesa awal dalam penelitian ini adalah gaya *rolling resistance* dipengaruhi oleh jumlah putaran bantalan dan gaya radial. Bantalan yang memiliki diameter luar paling kecil akan memiliki gaya *rolling resistance* paling kecil.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu suatu metode pengamatan eksperimen secara langsung. Dalam penelitian ini digunakan untuk mencari nilai *rolling resistance single row deep groove ball bearing* dengan mengamati sinyal gelombang getarannya.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Lab. Perancangan Mekanik Fakultas Teknik Universitas Jember yang dimulai pada tanggal Oktober 2018 – Desember 2018.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Alat uji *rolling resistance* bantalan



Gambar 3.1 Alat uji *rolling resistance* bantalan

Keterangan gambar :

1. Motor AC
2. Rangka
3. Poros
4. *Flywheel*
5. *Flens*
6. *Clutch*

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 3.2 Motor AC

Spesifikasi motor AC tipe YC80C-2 :

- 1) *Output* : 0,75 kW
- 2) *Rated speed* : 2850 rpm
- 3) *Rated voltage* : 220 V
- 4) *Rated current* : 6,7 A
- 5) *Frekuensi* : 50 Hz

c. *Dimmer*

Dimmer pada alat uji *rolling resistance* bantalan ini digunakan sebagai alat pengatur putaran motor listrik.



Gambar 3.3 *Dimmer*

d. *Timbangan digital*

Timbangan digital adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur berat atau massa sebuah objek.



Gambar 3.4 *Timbangan digital*

e. *Tachometer*

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



Gambar 3.5 Tachometer

f. *Proscope USB Oscilloscope*Gambar 3.6 *Proscope USB Oscilloscope*
(Sumber: Parallax, 2010)

g. Laptop

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bantalan jenis *single row deep groove ball bearing* dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.1 berikut.

Nomor bantalan	Diameter		Tebal (mm)	Berat (g)
	Inner (mm)	Outer (mm)		
6000	10	26	8	20
6200	10	30	9	30
6300	10	35	11	75

Sumber : NTN, 2015



Gambar 3.7 Bantalan

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh referensi pendukung yang sesuai dengan topik penelitian. Materi yang dipelajari meliputi: efek getaran pada nilai *rolling resistance* , analisa getaran pada bantalan dan getaran mekanik.

b. Eksperimen

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut : mengukur nilai *rolling resistance* masing-masing bantalan secara bergantian, mendeteksi getaran yang dihasilkan dari masing-masing bantalan secara bergantian , menganalisa getaran yang dihasilkan untuk menentukan pengaruhnya terhadap nilai *rolling resistance*.

c. Analisa Hasil Penelitian

Hasil data pengujian getaran bantalan dianalisa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai *rolling resistance*.

d. 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:

a. Variabel terikat

Merupakan variabel yang digunakan sebagai patokan dalam penelitian. Dalam hal ini variabel terikat yang dipilih dalam penelitian ini yaitu: gaya *rolling resistance*.

b. Variabel bebas

Merupakan variabel yang keberadaannya dapat mempengaruhi variabel terikat. Besar kecilnya variabel bebas dapat dikendalikan sesuai dengan pertimbangan dan tujuan dalam penelitian itu sendiri. Dalam penelitian ini akan digunakan faktor kendali yang dinilai keberadaannya dapat mempengaruhi variabel terikat. Faktor-faktor yang akan digunakan yaitu: tipe atau jenis *bearing*.

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 rolling resistance bantalan untuk dilakukan pengujian.
- c. Memasang alat uji getaran pada bahan untuk dilakukan pengujian getaran.
- d. Melakukan pengujian rolling resistance dengan memutar alat uji rolling resistance bantalan dan menyalakan alat uji getaran secara bersamaan.
- e. Mengamati gelombang getaran pada bantalan dengan menggunakan laptop atau komputer.
- f. Menyimpan hasil yang keluar pada laptop atau komputer.
- g. 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-sub-bab 3.5.2. Dalam pengujian didapatkan 2 data yaitu waktu berputar *flywheel* dan data getaran dari propscope. Data getaran dari propscope digunakan sebagai nilai frekuensi untuk mencari kecepatan sudut ,dimana kecepatan sudut merupakan factor nilai untuk menghitung nilai gaya *rolling resistance* seperti pada persamaan 3.1 berikut

$$Fr = \frac{1}{2} \frac{(R2^2 + R1^2)\omega}{g.Rd.t} . W \quad 3.1$$

$$\omega = 2\pi f \quad 3.2$$

Dimana :

Fr : Gaya *rolling resistance* (N)

W : Beban (N)

R2 : Jari-jari *flywheel* (m)

R1 : Jari-jari *outer* bantalan (m)

Rd : Jari-jari *inner* bantalan (m)

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

t : waktu (s)

g : gravitasi (9,8 m/s²)

f : frekuensi (Hz)

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian serta menganalisis hasil data pengujian yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Berdasarkan analisis dan pengolahan data , didapatkan bahwa nilai getaran pada masing-masing bantalan semakin meningkat saat putaran tinggi. Dari hasil pengujian didapatkan nilai frekuensi getaran untuk bantalan 6000 sebesar 2,4422 Hz , bantalan 6200 sebesar 2,4426 Hz dan bantalan 6300 sebesar 2,4432 Hz.
- b. Nilai *rolling resistance* akan semakin meningkat saat diameter bantalan semakin besar. Waktu putar bantalan sangat berpengaruh terhadap nilai *rolling resistance*. Hasil pengujian *rolling resistance* dari ketiga jenis bantalan, didapatkan nilai yang optimum dengan mengatur putaran bantalan sebesar 330 rpm dengan beban 200 N dan diperoleh gaya *rolling resistance* pada nomor bantalan 6000 sebesar 0,562 N, pada nomor bantalan 6200 sebesar 0,68 N, dan pada nomor bantalan 6300 sebesar 0,973 N.

5.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk penelitian selanjutnya diperlukan meneliti dari faktor lain seperti pelumasan, material , umur pakai dan tipe bantalan yang lain daripada penelitian ini untuk didapatkan nilai *rolling resistance* paling kecil.
- b. Diperlukan variasi pembebanan untuk melihat pengaruh dari beban terhadap *rolling resistance*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamsen, A. B. 2001. *Superconducting bearings for flywheel applications*. Denmark: Danka service international
- 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.
- Erinofiardi. 2011. *Desain Umur Bantalan Carrier Idler Belt Conveyor PT.Pelindo II Bengkulu*. *Jurnal Teknik Mesin*, 8 (1): 41-49.
- Fitoyo, A. 2017. Analisis Kualitas Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing Terhadap Rolling Resistance* pada Mobil Listrik TITEN Prototype. Jember: Universitas Jember.
- Hanwa, F. 2001. *KBC Rolling Bearing*. FAG HANWHA Bearings Corp.
- Holman J.P. 1984. *Metode Pengukuran Teknik*. Jakarta: Erlangga
- Jamadar I.M. 2015. *Model Development for Investigating of Localized Defect in Taper Roller Bearings Using Matrix Method of Dimensional Analysis*. Sciencedirect.
- Juhala, M. M. 2014. *Improving Vehicle Rolling Resistance And Aerodynamics*. Finland: Woodhead Publishing Limited Science Direct (2014):462 – 475.
- Kamandi, G. 1999. *An Evaluation of the Concept Of Rolling Resistance*. *Journal of Terramechanics* 36 (1999): 159-166.
- Kulkarni, S. (2016). *Experimental Investigation for Distributed Defects in Ball Bearing using Vibration Signature Analysis*. *Procedia Engineering* 144 (2016):781 – 789.
- Muttaqin. M. M. 2015. Pengaruh Tekanan Udara (Infation Preasure) Pada Ban Tipe Radial Ply Terhadap Rolling Resistance. Jember. *Jurnal Rotor*, 8 (2): 1-3.
- 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.
- Parallax. 2010. *Getting Started with PropScope USB Oscilloscope*. Parallax Inc, V1.1 2010: 1-6.

- Pratiwi, P. R. dkk. 2008. *CTL Ilmu Pengetahuan Alam SMP Kelas VIII*. Jakarta: Depdiknas.
- Rao, Singiresu S. 2011. *Mechanical Vibrations Fifth Edition*. University of Miami: Prentice Hall.
- SKF. 2012. *Railway Technical Handbook Volume 1 Axleboxes, Wheelset bearings, Sensors, Condition Monitoring, Subsystem and Services*. Rusia: PUB 42/P2 12788 EN.
- Sularso, Suga, Kiyokatsu. 1997. *DASAR PERANCANGAN DAN PEMILIHAN ELEMEN MESIN*. Jakarta: PT Pradya Paramita.
- Sutantra, I. N dan B. Sampurno. 2010. *Teknologi Otomotif*. Surabaya: Guna Widya.
- Wahyudi, T. 2016. Mendeteksi Kerusakan Bantalan dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi. *Sinergi*, 20 (2) Juni 2016: 123-128.
- Walter, J. D. dan A. N. Gent. 2005. *The Pneumatic Tire*. Wasington, D.C: NHTSA

Lampiran A. Perhitungan Putaran

A.1 Perhitungan keliling roda (ukuran 16 inchi)

Diketahui :

Ukuran roda = 16 inchi

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Diameter roda} &= 16 \text{ inchi} \\ &= 16 \times 2,54 \text{ cm} \\ &= 40,64\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling roda} &= \pi \times d \\ &= 3,14 \times 40,64 \\ &= 127,6 \text{ cm} \\ &= 1,276 \text{ m}\end{aligned}$$

A.2 Perhitungan kecepatan mobil

a. Asumsi pada saat lomba

Diketahui :

$$\begin{aligned}\text{Jarak (s)} &= 1,27 \text{ km} \times 10 \text{ putaran} \\ &= 12,7 \text{ km}\end{aligned}$$

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

Perhitungan :

$$\begin{aligned}v &= \frac{s}{t} \\ &= \frac{12,7 \text{ km}}{0,5 \text{ jam}} \\ &= 25 \text{ km/jam}\end{aligned}$$

b. Asumsi pada saat *test drive* di Unej dengan waktu 28 menit

Diketahui :

$$\begin{aligned}\text{Jarak (s)} &= 1,1 \text{ km} \times 10 \text{ putaran} \\ &= 11 \text{ km}\end{aligned}$$

$$\text{Waktu (t)} = 28 \text{ menit} = 0,46 \text{ jam}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} v &= \frac{s}{t} \\ &= \frac{11 \text{ km}}{0,46 \text{ jam}} \\ &= 24 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

c. Asumsi pada saat di *test drive* di Unej dengan waktu 30 menit

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Jarak (s)} &= 1,1 \text{ km} \times 10 \text{ putaran} \\ &= 11 \text{ km} \end{aligned}$$

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

Perhitungan :

$$\begin{aligned} v &= \frac{s}{t} \\ &= \frac{11 \text{ km}}{0,5 \text{ jam}} \\ &= 22 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

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

- $22 \text{ km/jam} = \frac{22 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} = \frac{366,6 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} = 287,3 \text{ rpm}$
- $24 \text{ km/jam} = \frac{24 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} = \frac{400 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} = 313,4 \text{ rpm}$
- $25 \text{ km/jam} = \frac{25 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} = \frac{416,6 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} = 326,5 \text{ rpm}$

Lampiran B. Frekuensi Natural (ω) *Flywheel* pada Bantalan

Lampiran B.1 Pengujian ke-1							
No.	Nomor Bantalan	Beban		f (Hz)		ω (rad/s)	
		Radial (kg)	rpm	Getaran Horisontal	Getaran Vertikal	Getaran Horisontal	Getaran Vertikal
1.	6000	20	290	2,44141	2,44196	15,3320325	15,342
			310	2,44141	2,44498	15,3320325	15,3355
			330	2,443	2,44498	15,34202	15,3545
2.	6200	20	290	2,443	2,44299	15,34202	15,3355
			310	2,442	2,44498	15,335775	15,3545
			330	2,443	2,44498	15,34202	15,3545
3.	6300	20	290	2,44499	2,44299	15,35452323	15,342
			310	2,44499	2,44498	15,35452323	15,3545
			330	2,443	2,44498	15,34201954	15,3545

Lampiran B.2 Pengujian ke-2							
No.	Nomor Bantalan	Beban		f (Hz)		ω (rad/s)	
		Radial (kg)	rpm	Getaran Horisontal	Getaran Vertikal	Getaran Horisontal	Getaran Vertikal
1.	6000	20	290	2,44299	2,44498	15,34202	15,342
			310	2,443	2,44299	15,342	15,3545
			330	2,44618	2,44196	15,362	15,3545
2.	6200	20	290	2,442	2,44299	15,33577534	15,3545
			310	2,442	2,44498	15,33577534	15,342
			330	2,44499	2,44498	15,35452323	15,3355
3.	6300	20	290	2,44499	2,44299	15,35452323	15,342
			310	2,44499	2,44498	15,35452323	15,3545
			330	2,443	2,44498	15,34201954	15,3545

Lampiran B.3 Pengujian ke-3

No.	Nomor Bantalan	Beban		f (Hz)		ω (rad/s)	
		Radial (kg)	rpm	Getaran	Getaran	Getaran	Getaran
				Horisontal	Vertikal	Horisontal	Vertikal
1.	6000	20	290	2,441406	2,441958	15,34202	15,335
			310	2,442996	2,441958	15,3320325	15,3355
			330	2,442996	2,444984	15,34202	15,342
2.	6200	20	290	2,442002	2,442993	15,33577534	15,3355
			310	2,444987	2,441958	15,35452323	15,3355
			330	2,444987	2,444984	15,35452323	15,3545
3.	6300	20	290	2,442002	2,442993	15,33577534	15,342
			310	2,442002	2,441958	15,33577534	15,3355
			330	2,444987	2,444984	15,35452323	15,3545

Lampiran B.4 Pengujian ke-4

No.	Nomor Bantalan	Beban		f (Hz)		ω (rad/s)	
		Radial (kg)	rpm	Getaran	Getaran	Getaran	Getaran
				Horisontal	Vertikal	Horisontal	Vertikal
1.	6000	20	290	2,443	2,4414	15,34202	15,342
			310	2,443	2,44299	15,34202	15,3355
			330	2,443	2,44498	15,34202	15,3355
2.	6200	20	290	2,44243	2,44299	15,3384508	15,332
			310	2,442	2,44299	15,33577534	15,342
			330	2,442	2,44498	15,33577534	15,3545
3.	6300	20	290	2,442	2,44299	15,33577534	15,342
			310	2,443	2,44299	15,34201954	15,342
			330	2,44499	2,44498	15,35452323	15,3545

Lampiran B.5 Pengujian ke-5

No.	Nomor Bantalan	Beban		f (Hz)		ω (rad/s)	
		Radial (kg)	rpm	Getaran	Getaran	Getaran	Getaran
				Horisontal	Vertikal	Horisontal	Vertikal
1.	6000	20	290	2,442	2,4414	15,09771987	15,3355
			310	2,4041	2,44299	15,33577534	15,3355
			330	2,442	2,44299	15,33577534	15,3355
2.	6200	20	290	2,442	2,44196	15,33577534	15,332
			310	2,44499	2,44196	15,35452323	15,342
			330	2,442	2,44196	15,33577534	15,342
3.	6300	20	290	2,442	2,44196	15,33577534	15,3355
			310	2,442	2,44196	15,33577534	15,3355
			330	2,443	2,44196	15,34201954	15,3355

Lampiran C. Tabel Data Hasil Perhitungan *Rolling Resistance* Bantalan (Getaran Horizontal)

Tabel C.1 Pengujian ke-1

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,3320325	1576	196	0,0032	0,62671
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,3320325	1625	196	0,0031	0,60781
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,34202	1671	196	0,00302	0,59146
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,34202	1393	196	0,00363	0,71073
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,335775	1443	196	0,0035	0,68583
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,34202	1492	196	0,00339	0,66357
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,35452323	925	196	0,00548	1,0739
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,35452323	967	196	0,00524	1,02725
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,34201954	1011	196	0,00501	0,98175

Tabel C.2 Pengujian ke-2

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,34202	1619	196	0,00311	0,61046
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,342	1669	196	0,00302	0,59217
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,362	1717	196	0,00294	0,57637
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,33577534	1354	196	0,00373	0,73091
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,33577534	1401	196	0,0036	0,70639
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,35452323	1450	196	0,00349	0,68335
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,35452323	890	196	0,00569	1,11613
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,35452323	947	196	0,00535	1,04895
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,34201954	987	196	0,00513	1,00562

Tabel C.3 Pengujian ke-3

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,34202	1663	196	0,00303	0,59392
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,3320325	1708	196	0,00295	0,57865
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,34202	1758	196	0,00287	0,56219
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,33577534	1365	196	0,0037	0,72502
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,35452323	1413	196	0,00358	0,70124
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,35452323	1457	196	0,00347	0,68007
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,33577534	870	196	0,00582	1,14039
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,33577534	917	196	0,00552	1,08194
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,35452323	959	196	0,00528	1,03582

Tabel C.4 Pengujian ke-4

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,34202	1719	196	0,00293	0,57495
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,34202	1756	196	0,00287	0,56283
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,34202	1801	196	0,0028	0,54877
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,3384508	1365	196	0,0037	0,72514
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,33577534	1412	196	0,00358	0,70088
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,33577534	1464	196	0,00345	0,67599
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,33577534	958	196	0,00528	1,03564
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,34201954	998	196	0,00507	0,99453
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,35452323	1049	196	0,00483	0,94695

Tabel C.5 Pengujian ke-5

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,09771987	1753	196	0,00288	0,56357
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,33577534	1801	196	0,00276	0,54003
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,33577534	1850	196	0,00272	0,53402
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,33577534	1321	196	0,00382	0,74917
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,35452323	1368	196	0,0037	0,72431
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,33577534	1410	196	0,00358	0,70188
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,33577534	960	196	0,00527	1,03348
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,33577534	1004	196	0,00504	0,98819
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,34201954	1025	196	0,00494	0,96834

Lampiran D. Tabel Data Hasil Perhitungan *Rolling Resistance* Bantalan (Getaran Vertikal)

Tabel D.1 Pengujian ke-1

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,342	1661	196	0,00303	0,59477
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,3355	1713	196	0,00294	0,57672
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,3545	1759	196	0,00287	0,56233
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,3355	1341	196	0,00377	0,73798
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,3545	1387	196	0,00364	0,71439
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,3545	1430	196	0,00354	0,69291
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,342	975	196	0,00519	1,01799
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,3545	1019	196	0,00497	0,97483
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,3545	1042	196	0,00486	0,95331

Tabel D.2 Pengujian ke-2

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,342	1648	196	0,00306	0,6002
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,3545	1709	196	0,00295	0,57878
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,3545	1740	196	0,0029	0,56847
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,3545	1363	196	0,00371	0,72638
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,342	1413	196	0,00358	0,70124
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,3355	1460	196	0,00346	0,67867
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,342	956	196	0,0053	1,03907
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,3545	992	196	0,0051	1,00055
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,3545	1016	196	0,00498	0,9765

Tabel D.3 Pengujian ke-3

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,3355	1677	196	0,00301	0,5891
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,3355	1721	196	0,00293	0,57403
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,342	1765	196	0,00286	0,55996
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,3355	1373	196	0,00368	0,72078
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,3355	1420	196	0,00356	0,69692
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,3545	1466	196	0,00345	0,67534
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,342	933	196	0,00543	1,06337
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,3355	978	196	0,00518	1,01444
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,3545	1010	196	0,00502	0,98352

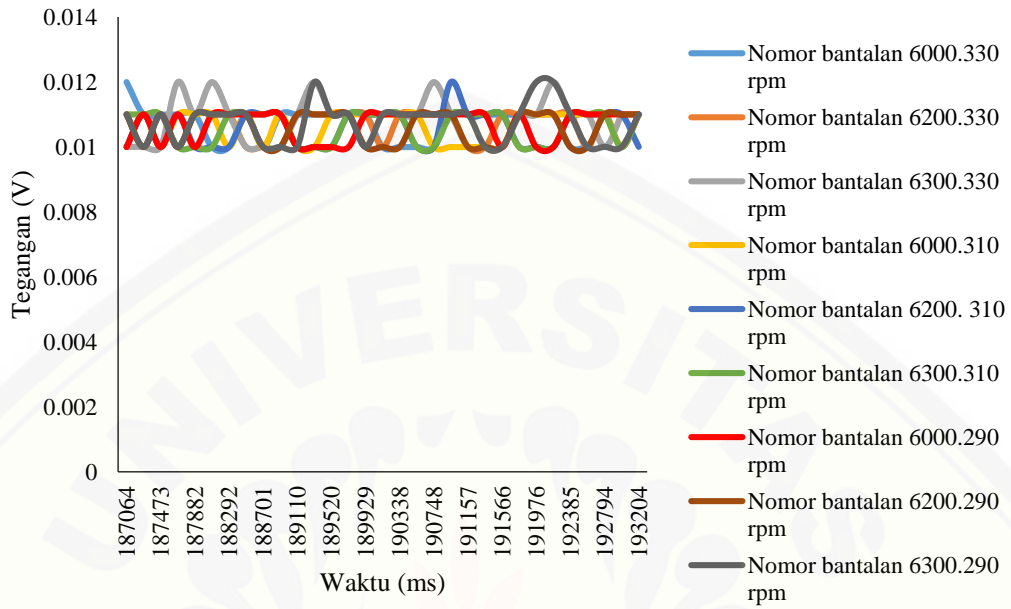
Tabel D.4 Pengujian ke-4

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,342	1681	196	0,003	0,58756
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,3355	1722	196	0,00293	0,5737
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,3355	1754	196	0,00287	0,56323
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,332	1380	196	0,00366	0,71743
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,342	1428	196	0,00354	0,69302
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,3545	1464	196	0,00345	0,67598
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,342	964	196	0,00525	1,02894
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,342	1011	196	0,00501	0,98174
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,3545	1034	196	0,0049	0,96069

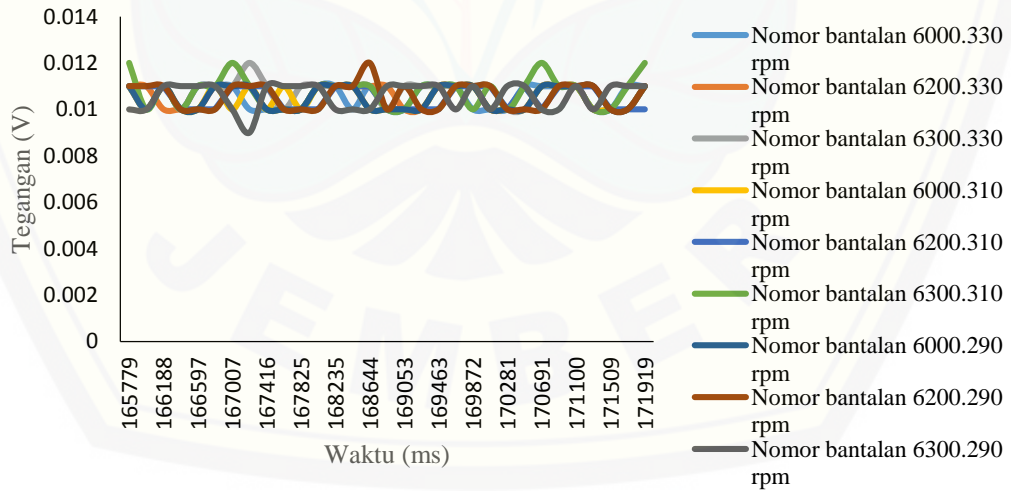
Tabel D.5 Pengujian ke-5

No.	Nomor bantalan	Massa Flywheel (kg)	g (m/s ²)	rpm	R1 (m)	R2 (m)	Rd (m)	ω (rad/s)	t (s)	FL (N)	Cr	Fr (N)
1	6000	20	9,8	290	0,013	0,179	0,005	15,3355	1680	196	0,003	0,58791
			9,8	310	0,013	0,179	0,005	15,3355	1721	196	0,00293	0,57403
			9,8	330	0,013	0,179	0,005	15,3355	1750	196	0,00288	0,56452
2	6200	20	9,8	290	0,015	0,179	0,005	15,332	1356	196	0,00372	0,72982
			9,8	310	0,015	0,179	0,005	15,342	1405	196	0,00359	0,70436
			9,8	330	0,015	0,179	0,005	15,342	1450	196	0,00348	0,6825
3	6300	20	9,8	290	0,0175	0,179	0,005	15,3355	891	196	0,00568	1,11324
			9,8	310	0,0175	0,179	0,005	15,3355	950	196	0,00533	1,04478
			9,8	330	0,0175	0,179	0,005	15,3355	997	196	0,00508	0,99553

Lampiran E. Grafik Respon Getaran Bebas Pada Bantalan

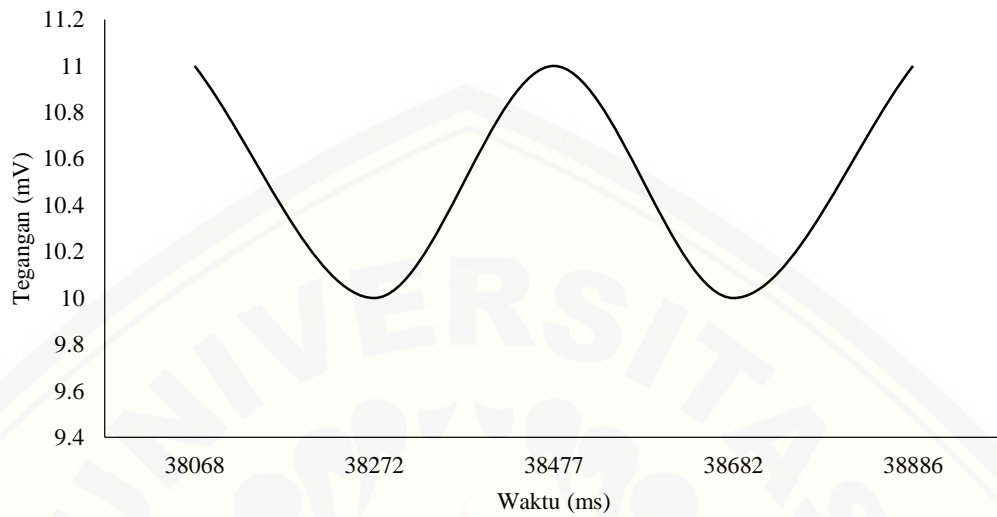


Grafik Respon Getaran Horizontal

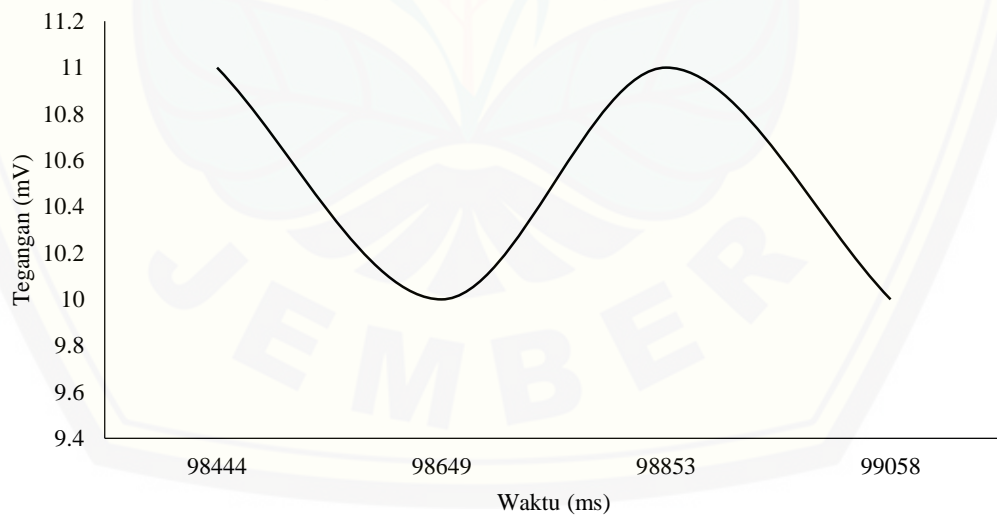


Grafik Respon Getaran Vertikal

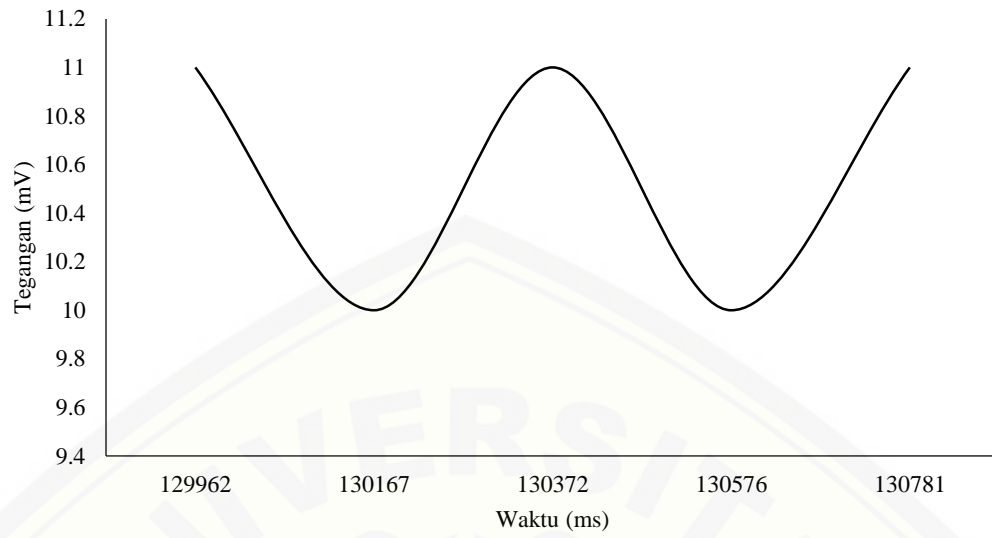
Lampiran F. Grafik Respon Getaran Bebas Bantalan Horizontal



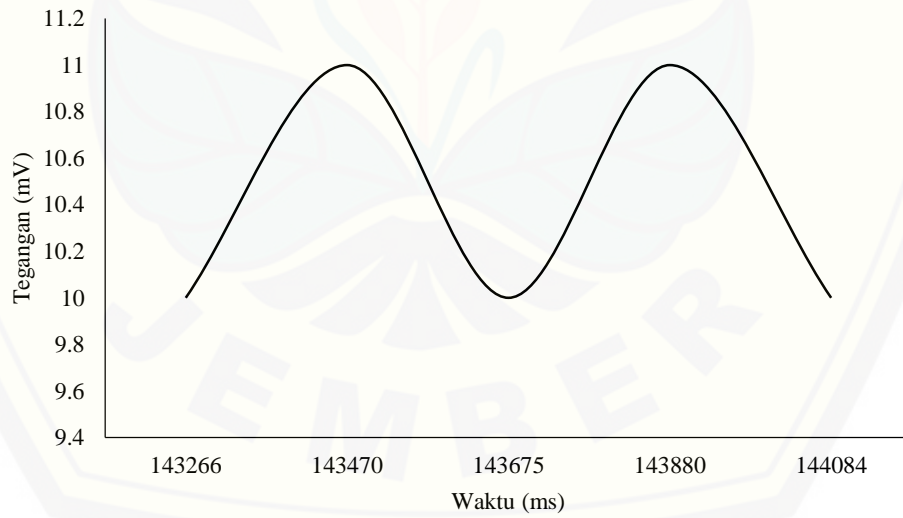
Lampiran F.1 Nomor Bantalan 6000 putaran 330 rpm



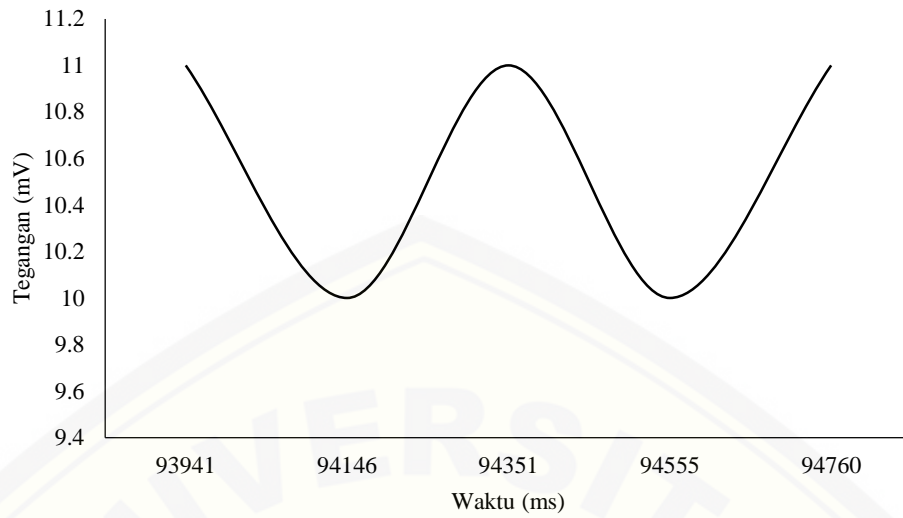
Lampiran F.2 Nomor Bantalan 6000 putaran 310 rpm



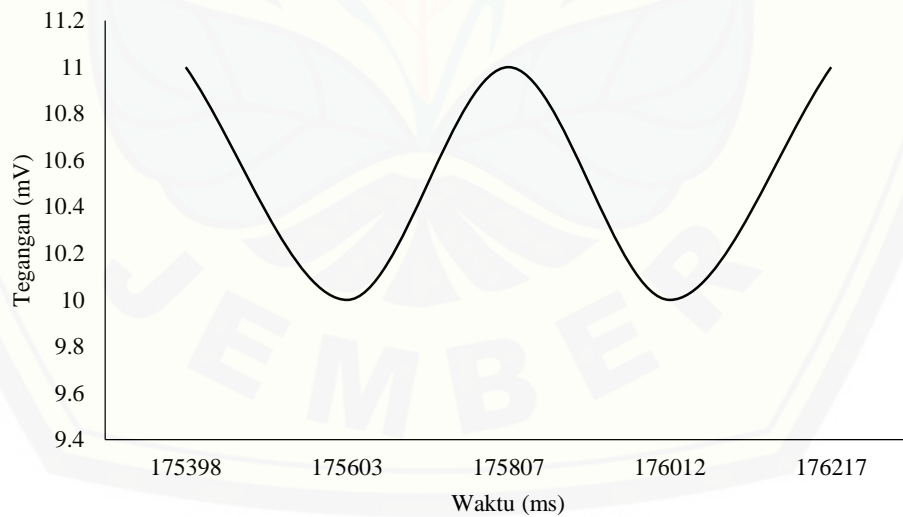
Lampiran F.3 Nomor Bantalan 6000 putaran 290 rpm



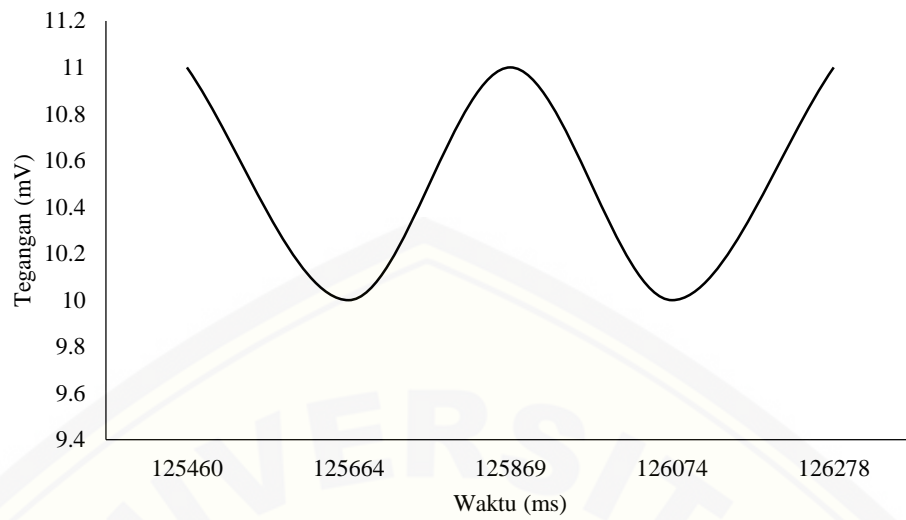
Lampiran F.4 Nomor Bantalan 6200 putaran 330 rpm



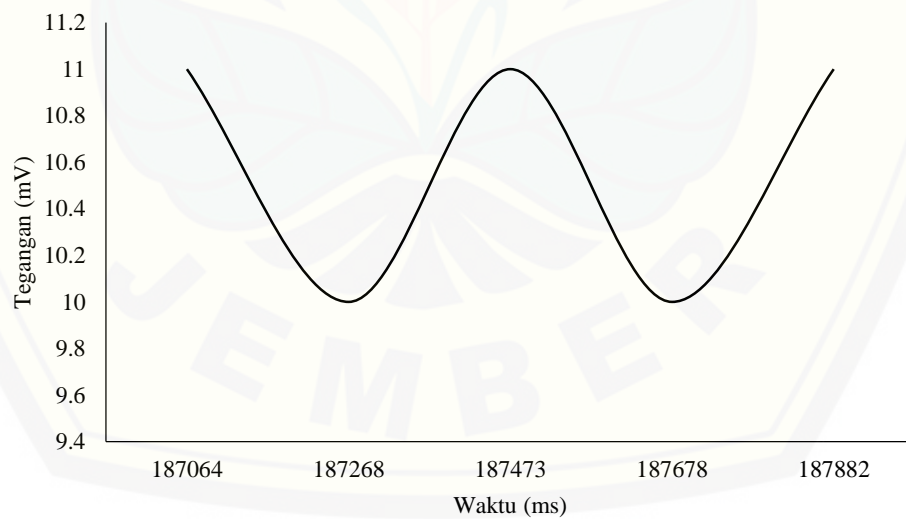
Lampiran F.5 Nomor Bantalan 6200 putaran 310 rpm



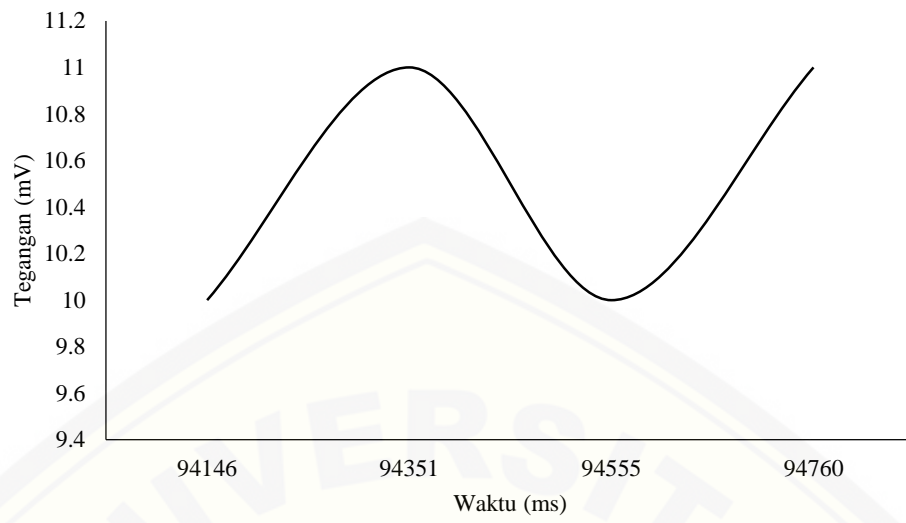
Lampiran F.6 Nomor Bantalan 6200 putaran 290 rpm



Lampiran F.7 Nomor Bantalan 6300 putaran 330 rpm

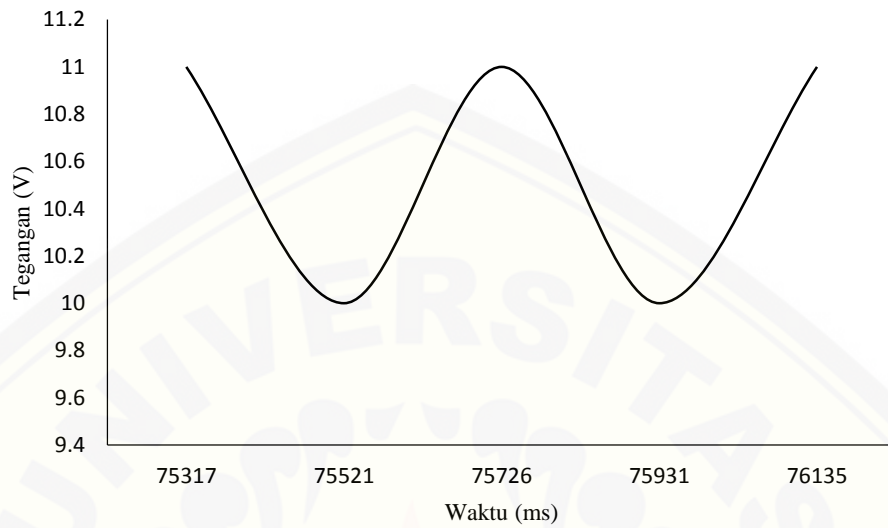


Lampiran F.8 Nomor Bantalan 6300 putaran 310 rpm

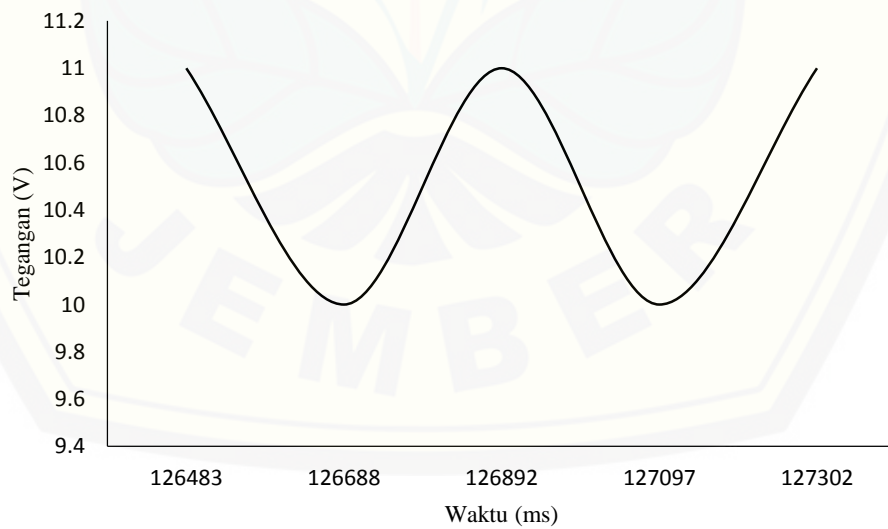


Lampiran F.9 Nomor Bantalan 6300 putaran 290 rpm

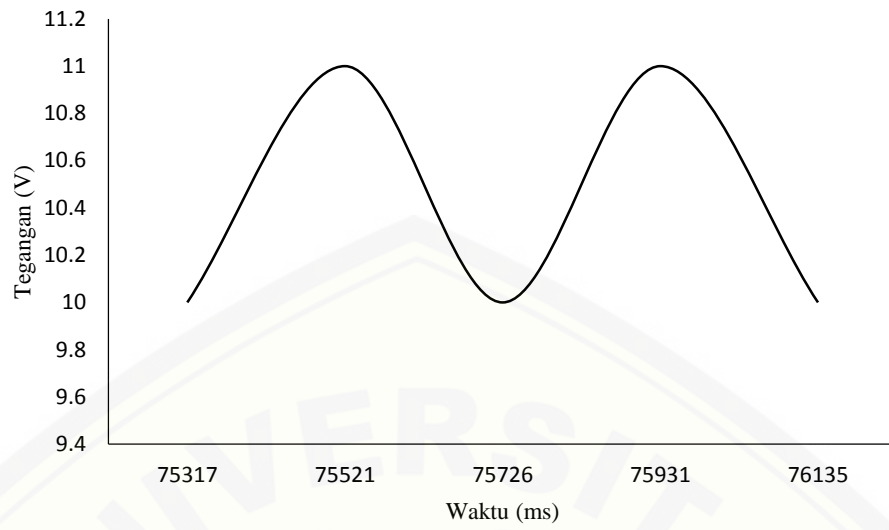
Lampiran G. Grafik Respon Getaran Bebas Bantalan Vertikal



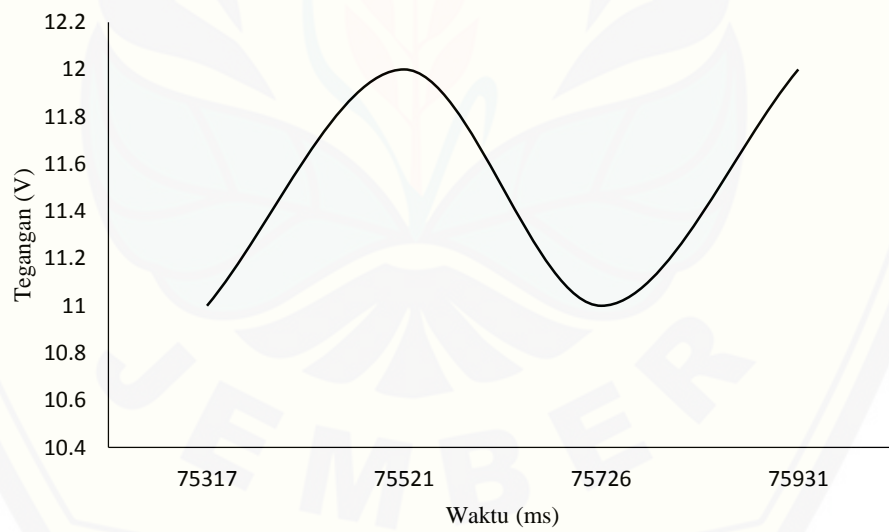
Lampiran G.1 Nomor Bantalan 6000 putaran 330 rpm



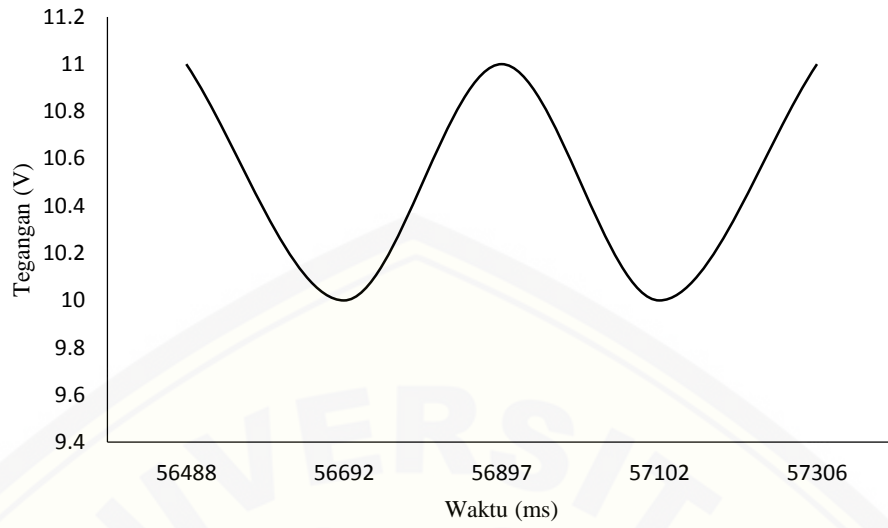
Lampiran G.2 Nomor Bantalan 6000 putaran 310 rpm



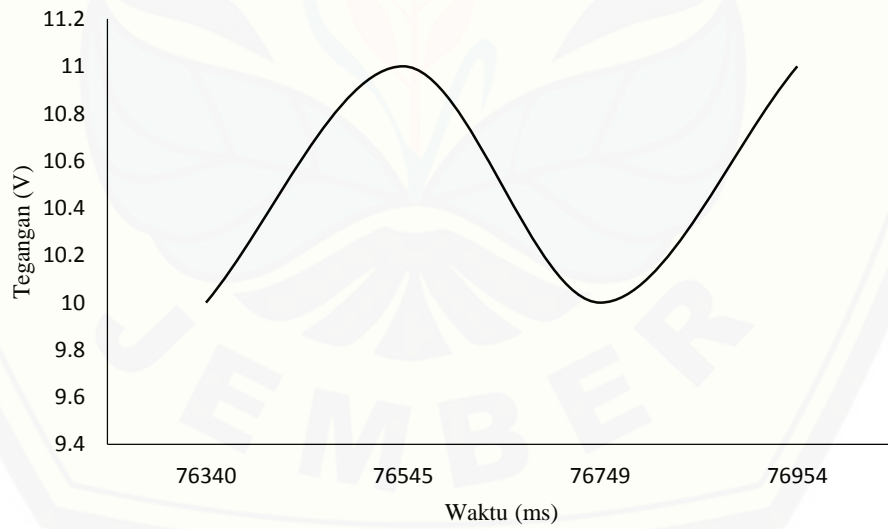
Lampiran G.3 Nomor Bantalan 6000 putaran 290 rpm



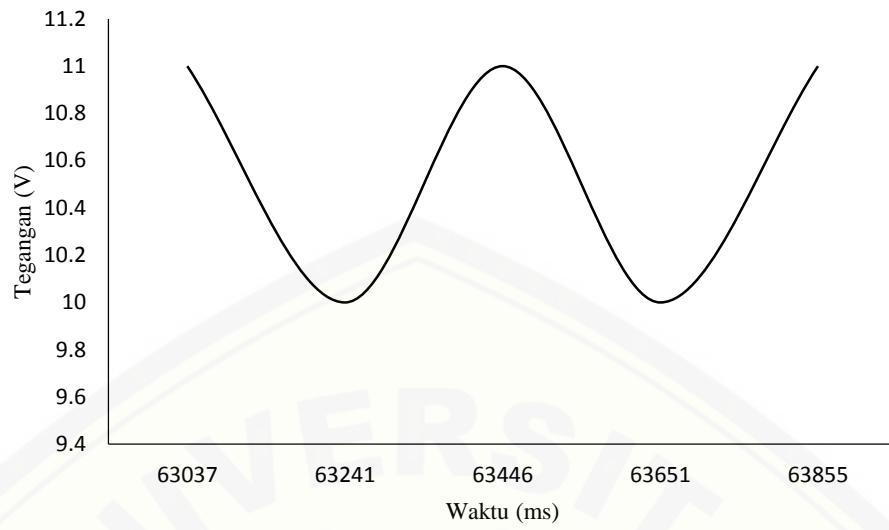
Lampiran G.4 Nomor Bantalan 6200 putaran 330 rpm



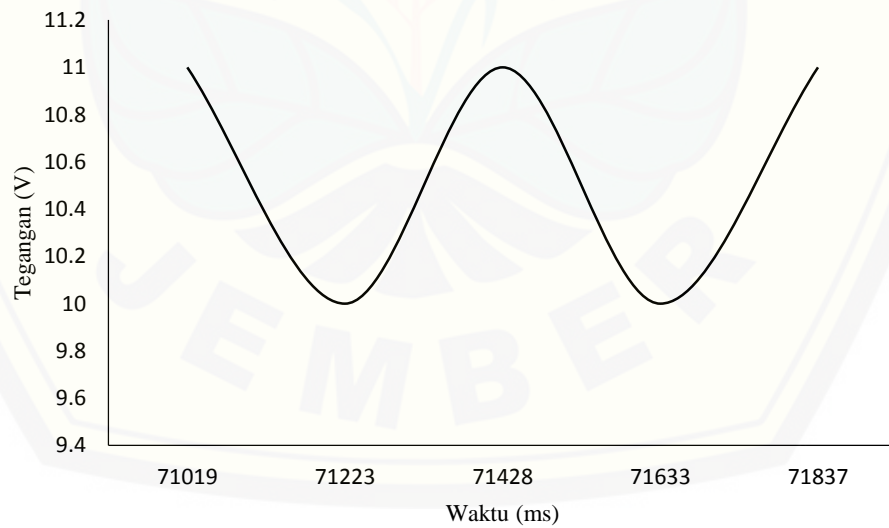
Lampiran G.5 Nomor Bantalan 6200 putaran 310 rpm



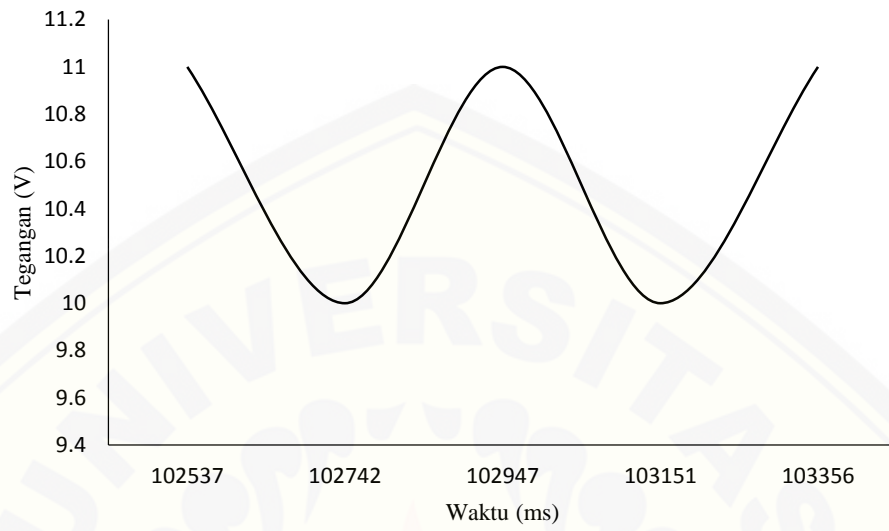
Lampiran G.6 Nomor Bantalan 6200 putaran 290 rpm



Lampiran G.7 Nomor Bantalan 6300 putaran 330 rpm

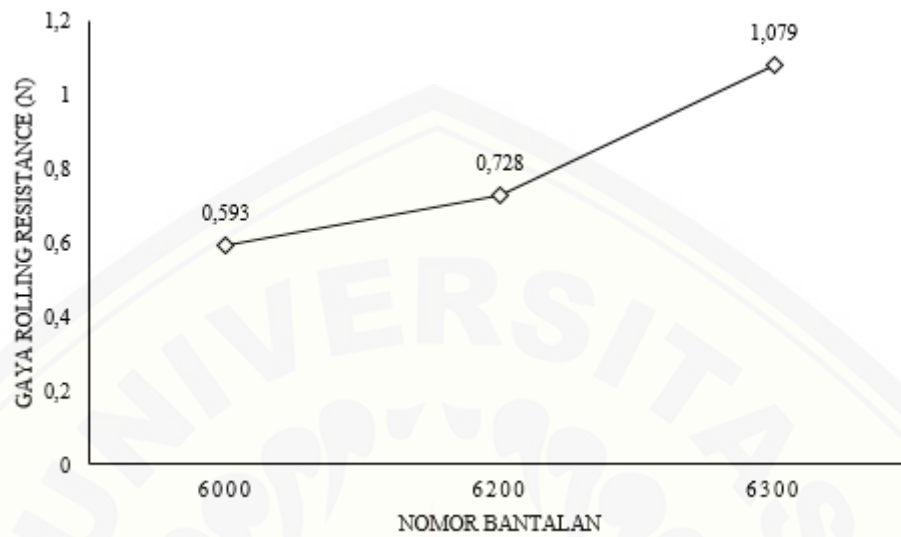


Lampiran G.8 Nomor Bantalan 6300 putaran 310 rpm

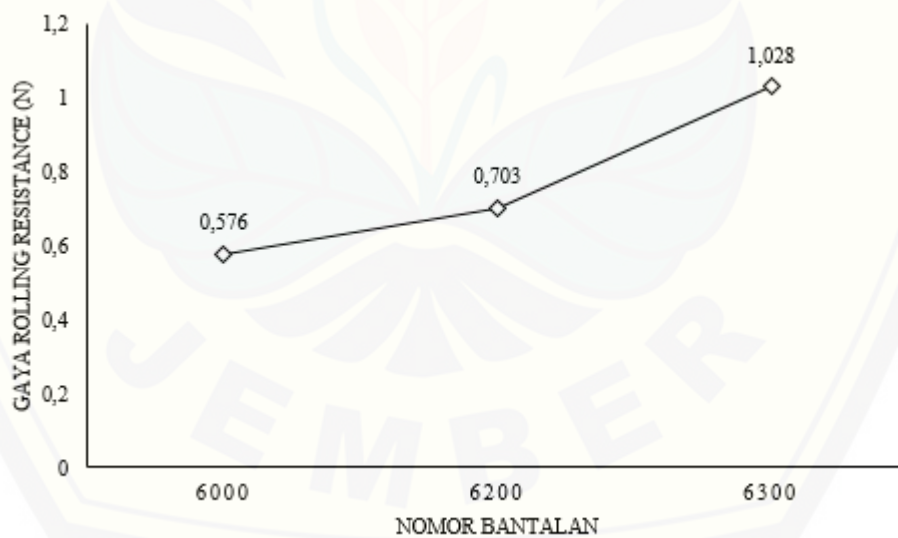


Lampiran G.9 Nomor Bantalan 6300 putaran 290 rpm

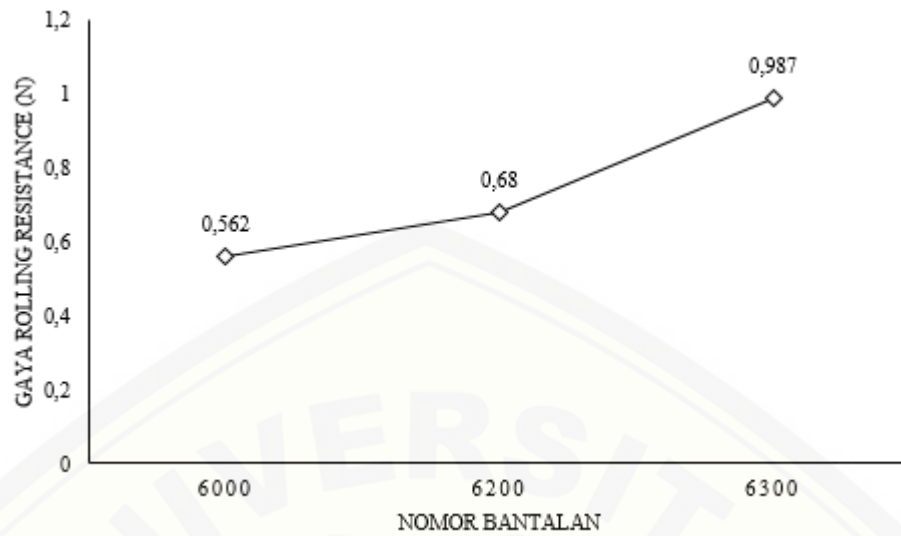
Lampiran H. Grafik Hasil Pengujian Gaya *Rolling Resistance* Bantalan Horizontal



Lampiran H.1 Putaran 290 rpm

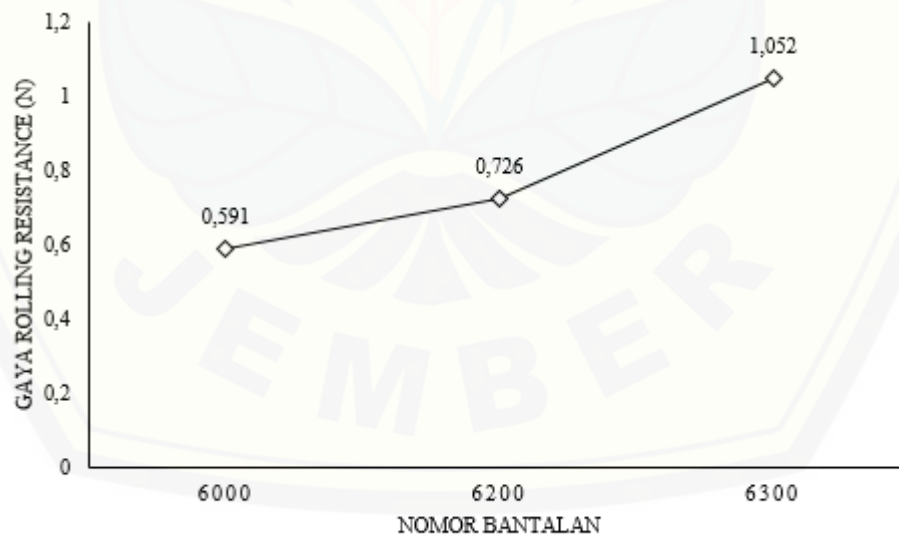


Lampiran H.2 Putaran 310 rpm

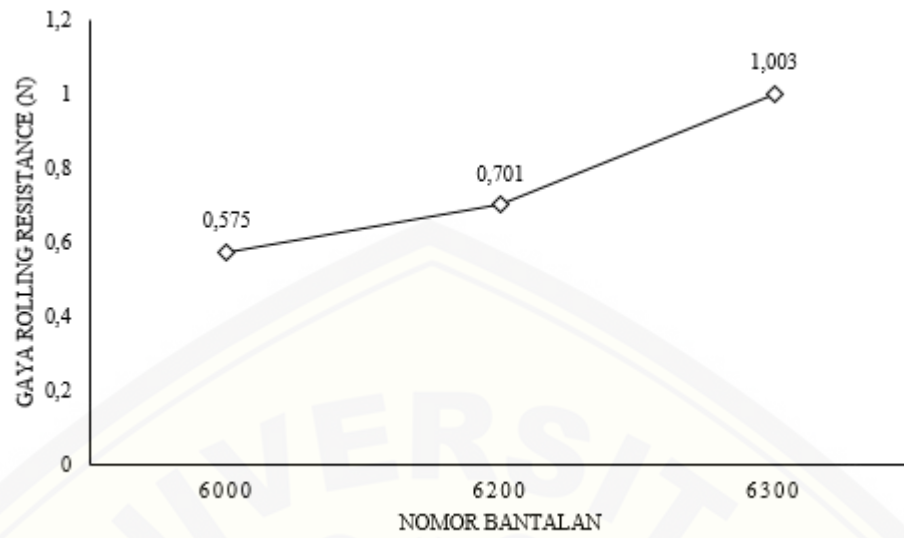


Lampiran H.3 Putaran 330 rpm

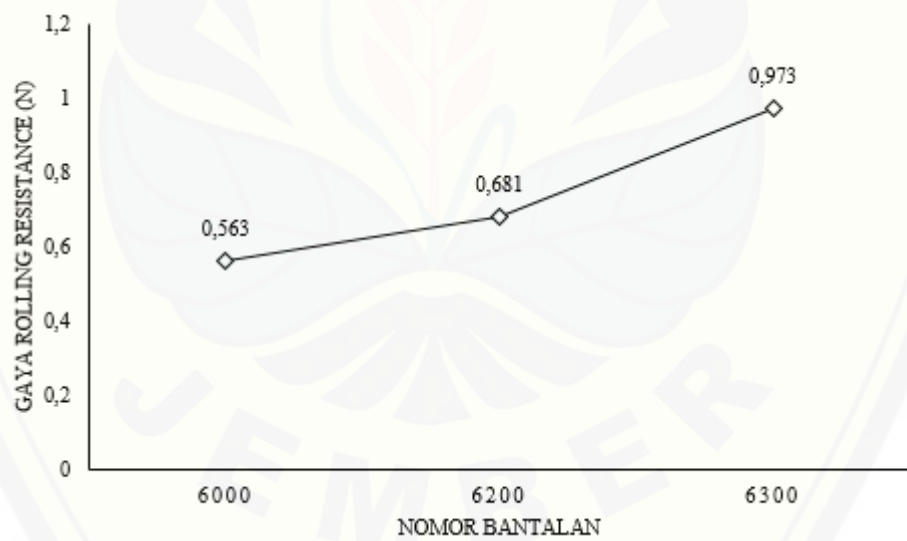
Lampiran I. Grafik Hasil Pengujian Gaya *Rolling Resistance* Bantalan Vertikal



Lampiran I.1 Putaran 290 rpm



Lampiran I.2 Putaran 310 rpm



Lampiran I.3 Putaran 330 rpm

Lampiran J. Dokumentasi Penelitian



Gambar J.1 Alat uji *rolling resistance*



Gambar J.2 Bantalan



Gambar J.3 *Flywheel*



Gambar J.4 Rangka



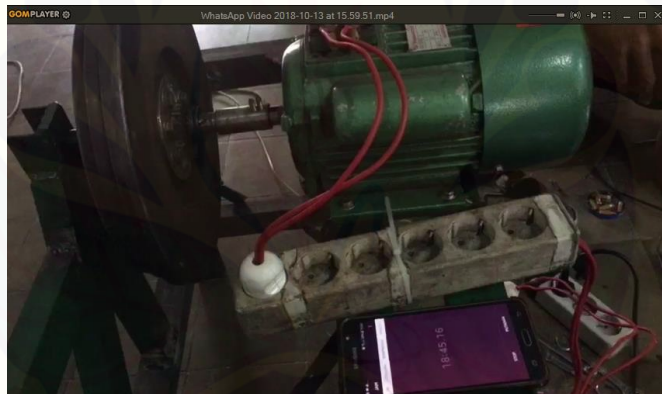
Gambar J.5 Pengelasan rangka



Gambar J.6 Pengukuran diameter *flywheel*



Gambar J.7 Mengatur putaran dan *timer*



Gambar J.8 Proses pengujian



Gambar J.9 Pengujian getaran

