



***ANALISIS ROLLING RESISTANCE
PADA SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING***

SKRIPSI

Oleh:

Muhammad Ihsan Prakoso

NIM 141910101001

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



***ANALISIS ROLLING RESISTANCE
PADA 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:

Muhammad Ihsan Prakoso

NIM 141910101001

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puja dan puji syukur kehadiran Allah SWT serta dengan niat tulus ikhlas dan segala kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ibunda Siti Muchsinin, Ayahanda Sukarno yang tercinta atas semua kasih sayang yang tulus selama ini, do'a setiap waktu yang tidak pernah putus, pengorbanan, materi, motivasi dan dukungannya selama ini.
2. Semua anggota keluarga dan saudara atas do'a dan dukungannya.
3. Guru-guru SD, SMP, SMK dan seluruh dosen Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan banyak ilmu dukungan serta motivasinya.
4. Keluarga Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember.
5. Semua saudaraku Teknik Mesin Angkatan 2014 (M16).
6. Almamater Universitas Jember yang saya banggakan.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan selama kuliah di Jember.

MOTTO

‘Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

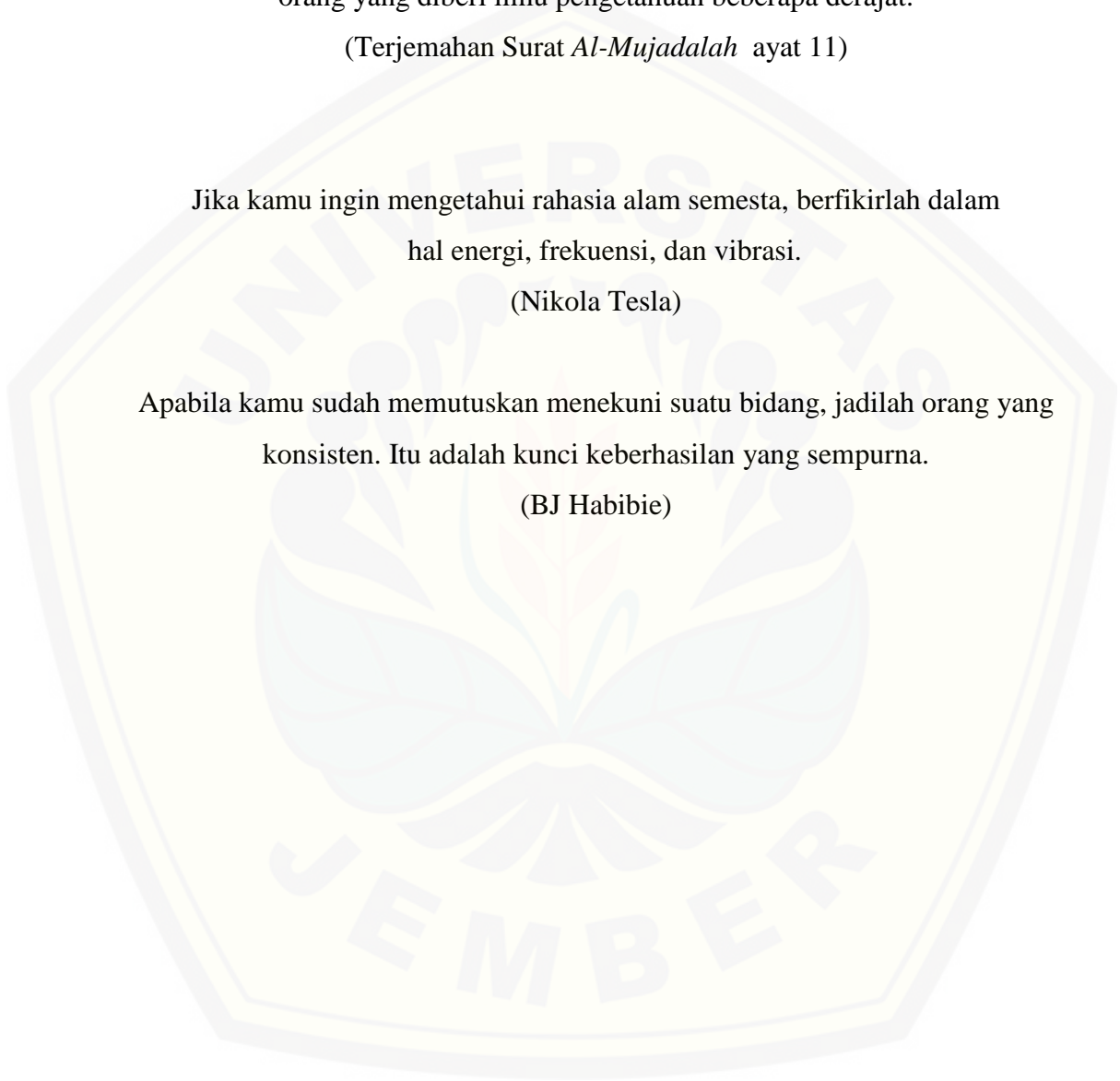
(Terjemahan Surat *Al-Mujadalah* ayat 11)

Jika kamu ingin mengetahui rahasia alam semesta, berfikirilah dalam hal energi, frekuensi, dan vibrasi.

(Nikola Tesla)

Apabila kamu sudah memutuskan menekuni suatu bidang, jadilah orang yang konsisten. Itu adalah kunci keberhasilan yang sempurna.

(BJ Habibie)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Ihsan Prakoso

NIM : 141910101001

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “ANALISIS *ROLLING RESISTENCE* PADA *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 kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi.

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

Jember, 4 Januari 2019

Yang menyatakan,

(Muhammad Ihsan Prakoso)

NIM 141910101001

SKRIPSI

***ANALISIS ROLLING RESISTANCE
PADA SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING***

Oleh

Muhammad Ihsan Prakoso

NIM 141910101001

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T

Dosen Pembimbing Anggota : Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T

PENGESAHAN



RINGKASAN

ANALISIS ROLLING RESISTANCE PADA SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING

Muhammad Ihsan Prakoso, 141910101001; 2018; 60 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Perkembangan sarana transportasi sangat pesat, sejak ditemukannya mobil bertenaga uap pertama kali di dunia oleh Nicolas Joseph Cugnot dari Perancis pada tahun 1879. Carl Benz berkebangsaan Jerman menemukan mobil berbahan bakar bensin pada tahun 1886. Hampir 100% alat transportasi yang meluncur di jalan-jalan seluruh dunia sekarang didominasi oleh kendaraan berbahan bakar fosil. Energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional (DEN) menginformasikan bahwa kebutuhan dan ketersediaan energi di Indonesia pada tahun 2015 mencatat cadangan minyak bumi mengalami penurunan 2,3 %. Cadangan minyak pada tahun 2014 sebanyak 3,75 miliar barel, sedangkan cadangan terbukti 3,62 miliar barel. Berbagai usaha dilakukan untuk menyelamatkan lingkungan (*green environment*) pada sektor alat transportasi, salah satunya adalah pengembangan mobil listrik.

Mobil listrik merupakan kendaraan yang menggunakan tenaga penggerak berupa motor listrik dengan sumber energi yang berasal dari baterai. Mobil listrik mulai dipopulerkan pada awal abad ke-20. Penggunaan mobil listrik merupakan solusi dari kelangkaan energi serta akan mengurangi efek *global warming* karena tidak menimbulkan polusi udara, selain itu penggunaan mobil listrik diharapkan dapat menghemat bahan bakar. Efisiensi kendaraan tergantung pada teknologi rancangannya. Tiga faktor dasar yang mempengaruhi efisiensi kendaraan yaitu massa kendaraan (*mass*), hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*) dan tahanan gelinding (*rolling resistance*). *Rolling resistance* berperan besar terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan sekitar 7 - 10% dari konsumsi energi total kendaraan. Pengurangan 10% *rolling resistance* akan menyebabkan peningkatan 2

- 3% dalam penghematan bahan bakar kendaraan. Bearing merupakan salah satu komponen mesin yang mempengaruhi nilai *rolling resistance*.

Bearing adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk menopang poros dalam kondisi berputar dan mempunyai beban. Gaya *rolling resistance* bearing disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara *ball bearing* dengan *inner* maupun *outer bearing*. Spesifikasi *bearing* yang sering ditampilkan oleh pabrikan adalah seri *number*, suaian, dimensi, material, *sealing*, dan *cage*. Belum dijumpai informasi nilai *rolling resistance* dari suatu produk *bearing*. *Bearing* yang dibutuhkan untuk merancang kendaraan efisien yaitu memiliki nilai *rolling resistance* sekecil mungkin serta kuat dalam menopang beban kendaraan.

Dalam penelitian ini metode pengujian yang akan dilakukan adalah metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan cara mengamati nilai *rolling resistance* pada *bearing* ketika diberikan variasi beban *bearing* pada *flywheel* (W) dan putaran *bearing* (n).

Berdasarkan grafik hasil pengolahan data menggunakan Microsoft Excel 2010, didapatkan bahwa nilai gaya *rolling resistance* akan semakin meningkat dengan bertambahnya beban dan luasan area yang saling berkontak dengan *ball bearing*. Jumlah *ball bearing* akan mengurangi percepatan getaran sampai batas tertentu, serta nilai gaya *rolling resistance* akan meningkat ketika mendapatkan putaran (n) yang terlalu tinggi.

Hasil pengujian *rolling resistance* dari keenam jenis bearing didapatkan nilai gaya *rolling resistance* paling rendah didapatkan pada seri *number bearing* 6001 nilai *rolling resistance* terendah 0,85600 *newton* pada beban *bearing* 177 *newton* dengan putaran *bearing* 380 rpm dan untuk nilai gaya *rolling resistance* paling tinggi didapatkan pada seri *number bearing* 6301 nilai *rolling resistance* tertinggi 2,55731 *newton* pada variasi berat 177 *newton* dengan putaran *bearing* 420 rpm.

SUMMARY

ROLLING RESISTANCE ANALYSIS OF SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING

Muhammad Ihsan Prakoso, 141910101001; 2018; 60 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The development of rapid transportation, since the invention of the first steam-powered car in the world by Nicolas Joseph Cugnot of France in 1879. The German Carl Benz find gasoline powered car in 1886. Almost 100% of transport that glide in the streets around the the world now dominated by fossil-fueled vehicles. Fossil energy is energy that can not be updated. Secretary General of the National Energy Council (DEN) inorms that the needs and availability of energy in Indonesia in 2015 noted the petroleum reserves decreased by 2.3%. The oil reserves in 2014, as many as 3.75 billion barrels, while proven reserves of 3.62 billion barrels. Various attempts were made to save the environment (green environment) in the transportation equipment sector, one of which is the development of electric cars.

The electric car is a vehicle that uses a form of propulsion electric motor with energy from the battery. Electric cars began to be popularized in the early 20th century. The use of electric cars is a solution to the scarcity of energy and will reduce the effects of global warming because it does not menimbullkan air pollution, in addition to the use of electric cars is expected to save fuel. The efficiency of the vehicle depending on design technology. Three basic factors that affect the efficiency of the vehicle, the vehicle mass (mass), aerodynamic resistance (aerodynamic resistance) and roll resistance (rolling resistance). Rolling resistance big role on vehicle fuel consumption of about 7-10% of the total energy consumption of the vehicle. 10% reduction in rolling resistance will lead to increase 2-3% in fuel savings vehicle. Bearing is one component of the machine which affect the value of rolling resistance.

bearing is a machine element that serves to prop shaft in a rotating condition and has the burden. Style rolling resistance bearing caused by friction between the ball bearing with the inner and outer bearing. Specifications bearing is often shown by the manufacturer are the type, suaian, dimensions, materials, sealing, and cage. Not to be found rolling resistance value information of a product bearing. Bearing required to design efficient vehicle that has the smallest possible value of the rolling resistance as well as strong in supporting the weight of the vehicle.

In this study the method of testing to be performed is an experimental method. This method is done by observing the rolling Resistance value on the bearings when given variations in loading on the flywheel (W) and flywheel rotation (n).

Based on the graph of the results of data processing using Microsoft Excel 2010, it was found that style rolling resistance value will increase with the increasing burden and the size of the area of mutual contact with the ball bearing. Number of ball bearings to reduce vibration acceleration to a certain extent, and the value of the rolling resistance force is increased when getting round (n) is too high.

Results of testing the rolling resistance of the sixth type of bearing obtained the value of the lowest rolling resistance force obtained on the type of bearing 6001 0.85600 resistance rolling lowest value on the weight of the flywheel 177 newton newton at 380 rpm flywheel rotation and for the value of the highest resistance rolling force obtained on the type of bearing 6301 The highest rolling resistance value 2.55731 newton on 177 newton weight variation at 420 rpm flywheel rotation.

PRAKATA

Dengan mengucap Alhamdulillah serta puji syukur kehadiran Allah SWT, karenadengan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISIS *ROLLING RESISTANCE* PADA *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jember.

Selama penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan, pengarahan dan do'a dari berbagai pihak. Oleh karenanya, penulis tidak lupa untuk mengucapkan banyak-banyak terimakasih kepada:

1. Ibunda Siti Muchsinin, Ayahanda Sukarno yang tercinta atas semua kasih sayang yang tulus, do'a setiap waktu yang tidak pernah putus, pengorbanan, materi, motivasi dan dukungannya selama ini.
2. Semua anggota keluarga besar saya, kakak kandung Nur Arifah Azni, kakak ipar Mulyono, adik kandung Al Anisa Mai Pratiwi, Aisyah Lintang Kirana, Hisyam Ghozi Allam, Anggun Alya Kinanthi dan semua saudara dari pihak ibu maupun bapak saya yang selalu memberikan do'a dukungan serta dorongan semangat selama ini.
3. Dosen pembimbing skripsi Bapak Dr. Gaguk Jatisukamto, S.T., M.T. dan Bapak Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T yang selalu setia membimbing dan memberi masukan kepada saya dalam penulisan skripsi ini.
4. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak Hari Arbiantara, S.T.,M.T. selaku dosen penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
5. Dosen pembimbing mobil listrik M. Nurkoyim Kustanto, S.T.,M.T yang selalu sabar dalam memberi masukan pada skripsi ini.

6. Guru-guru SD, SMP, SMK dan seluruh dosen-dosen teknik Mesin Universitas Jember yang senantiasa memberikan banyak ilmunya. Semoga ilmu yang kalian berikan bermanfaat dan barokah untuk saya, Amin.
7. Teman-teman seperjuangan sekolah dan didesa saya Khusnul, Mbah To, Handi, Galijo, Chemed, Dimas atas semua dukungannya
8. Keluarga Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember yang sudah mau berbagi keluh kesah, senang, canda tawa bersama dan dukungannya
9. Agung, Winagel, Hilmi, Riski , Apik, Iqbal, Arip, Yoga yang selalu sabar memberi semangat, do'a, motivasi, dan dukungan
10. Almamater Universitas Jember yang saya cintai dan saya banggakan
11. Saudaraku Teknik Mesin Angkatan 2014 (M16) yang selalu memberi motivasi dan semangat persaudaraan selama perkuliahan hingga saat ini.
12. Teman-teman kos Perum Mastrip Blok P No. 01 dan Blok V No.20 yang selalu menghibur dan menemani baik dikala suka maupun duka.
13. Seluruh civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

Skripsi ini disusun berdasarkan dengan data-data yang diperoleh dari studi lapangan dan uji coba yang dilakukan. Adapun kekurangan itu diluar kemampuan saya sebagai penulis, oleh karena itu penulis sangat menerima dengan ikhlas segala kritik dan saran dari semua pihak dalam upaya penyempurnaan dari skripsi ini dan semoga skripsi yang telah saya susun ini dapat bermanfaat untuk semua.

Jember, 4 Januari 2019

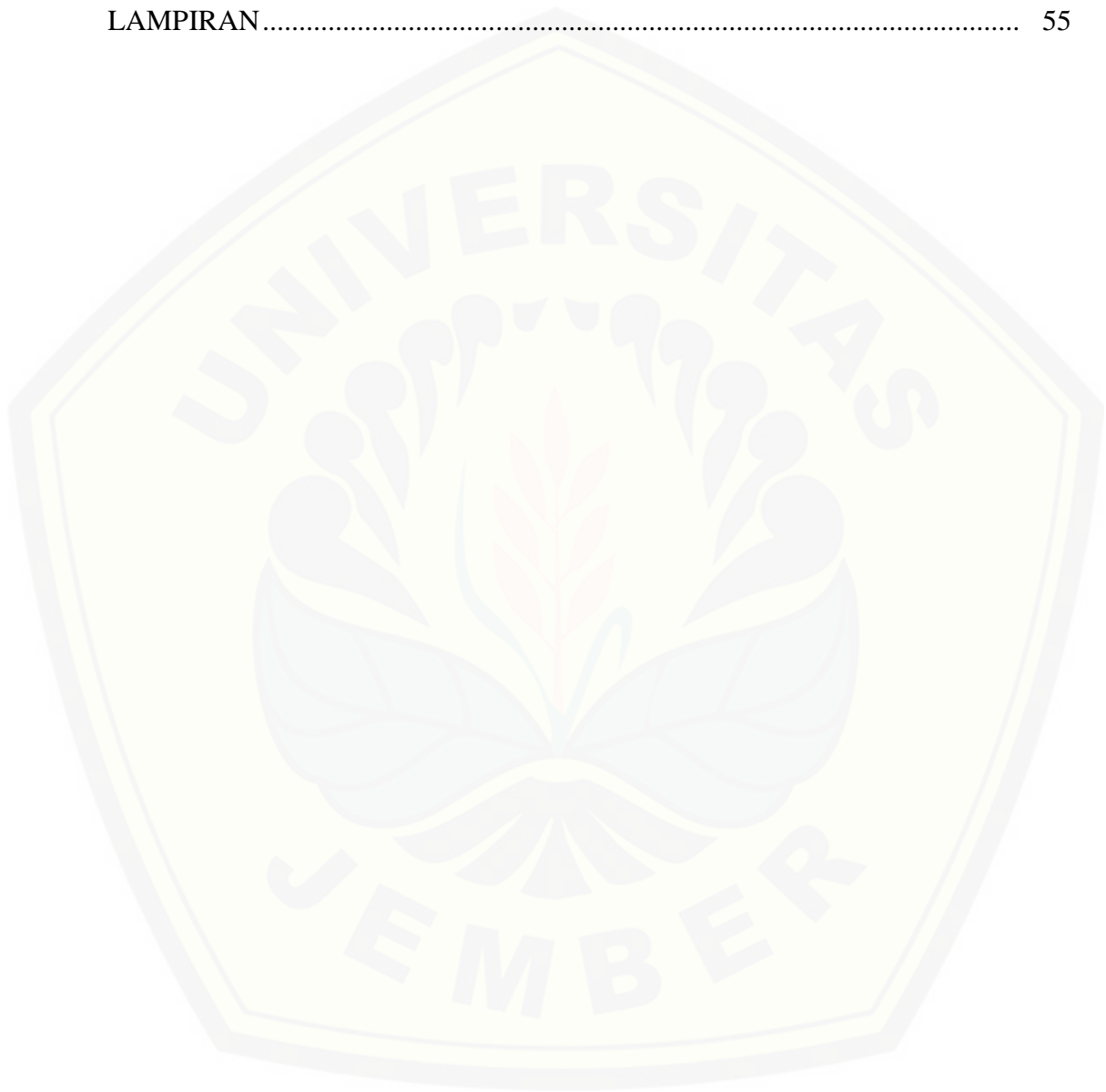
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan.....	4
1.4.2 Manfaat.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSAKA	6
2.1 Bearing	6
2.1.1 Fungsi Bearing	6
2.1.2 Klasifikasi Bearing	7
2.1.3 Deep Groove Ball Bearing	10
2.1.4 Kode Spesifikasi Bearing	11
2.2 Berat Bearing.....	13
2.2.1 Beban radial.....	13
2.3 Rolling Resistance (RR)	14

2.3.1	Rolling Resistance pada Bearing.....	14
2.3.2	Faktor yang mempengaruhi rolling resistance	16
2.4	Momen Inersia Bearing	16
2.5	Pengujian Rolling Resistance	17
2.6	Standar Pengujian Rolling Resistance Bearing.....	19
2.6.1	Pengujian Rolling Resistance Standar ISO 18164: 2005	20
2.6.2	Parameter Peralatan Uji.....	21
2.6.3	Perhitungan Rolling Resistance.....	21
2.7	Hipotesis	23
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1	Waktu dan Tempat	24
3.2	Alat dan Bahan	24
3.2.1	Alat	24
3.2.2	Bahan	27
3.3	Variabel Penelitian	28
3.3.1	Variabel Bebas.....	28
3.3.2	Variabel Terikat.....	28
3.3.3	Variabel Kontrol.....	28
3.4	Prosedur Penelitian	29
3.4.1	Metode Pengujian.....	29
3.5	Pengambilan Data Pengujian.....	31
3.6	Diagram Alir Penelitian.....	32
BAB 4.	PEMBAHASAN	33
4.1	Tinjauan Umum	33
4.2	Analisis Data	33
4.2.1	Pengaruh putaran flywheel terhadap koefisien rolling resistance ..	35
4.2.2	Analisis untuk korelasi jenis bearing pada putaran bearing.....	39
4.3	Pembahasan Analisis Gaya Rolling Resistance	45
4.3.1	Analisis putaran bearing untuk uji rolling resistance	45
4.3.2	Analisis beban untuk uji rolling resistance	45
4.3.3	Perhitungan luasan kontak lintasan ball bearing.....	46

BAB 5. PENUTUP	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
Daftar Pustaka	53
LAMPIRAN.....	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arah beban pada bearing (Hermawan, 2012).....	7
Gambar 2.2 Konstruksi bearing luncur dan bearing gelinding (Hermawan, 2012)	8
Gambar 2.3 Sleeve bearing (Hermawan, 2012)	8
Gambar 2.4 Thrust bearing (Hermawan, 2012)	9
Gambar 2.5 Klasifikasi rolling bearing (Seiko, 1997)	9
Gambar 2.6 Single row deep groove ball bearing (Seiko, 1997)	10
Gambar 2.7 Double row deep groove ball bearing (Seiko, 1997)	11
Gambar 2.8 Sistem kode klasifikasi Bearing (Seiko, 1997)	11
Gambar 2.9 Jenis seal single row deep groove ball bearing (Seiko, 1997)	13
Gambar 2.10 Beban radial pada roda kendaraan (Sutantra, 2010)	13
Gambar 2.11 Fenomena rolling resistance pada Bearing (Gomez, 2016)	14
Gambar 2.12 FBD elemen rolling resistance pada Bearing (Gomez, 2016).....	15
Gambar 2.13 Bearing pada poros kendaraan (Kurniawan, 2017)	15
Gambar 2.14 Bentuk geometri Bearing dan flywheel.....	16
Gambar 2.15 Pengujian Rolling Resistance menggunakan Drum Standar ISO 8767 dan 9948 (Michellin Tyre Article, 2003)	17
Gambar 2.16 Pengujian Rolling Resistance menggunakan Drum Standar ISO 8767 dan 9948 (Michellin Tyre Article, 2003)	18
Gambar 2.17 Alat uji rolling resistance (Kurniawan, 2017).....	19
Gambar 2.18 Ilustrasi metode pengujian rolling resistance pada Bearing.....	21
Gambar 3.1 Alat uji rolling resistance bearing	24
Gambar 3.2 Tachometer	25
Gambar 3.3 Flywheel	26
Gambar 3.4 Motor listrik AC 220 Volt.....	27
Gambar 3. 5 Pengukuran kecepatan putar bearing.....	30
Gambar 3.6 Pengukuran selisih waktu.....	31
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian.....	32

Gambar 4.1 Hubungan antara beban bearing 165 N terhadap nilai koefisien rolling resistance	35
Gambar 4.2 Hubungan antara beban bearing 165 N terhadap nilai rolling resistance	36
Gambar 4.3 Hubungan antara beban bearing 177 N terhadap nilai koefisien rolling resistance	37
Gambar 4.4 Hubungan antara beban bearing 177 N terhadap nilai rolling resistance	38
Gambar 4.5 Hubungan antara beban bearing 207 N terhadap nilai koefisien rolling resistance	38
Gambar 4.6 Hubungan antara beban bearing 207 N terhadap nilai rolling resistance	39
Gambar 4.7 Hubungan antara putaran 380 rpm terhadap nilai koefisien rolling resistance	40
Gambar 4.8 Hubungan antara putaran 380 rpm terhadap nilai rolling resistance	41
Gambar 4.9 Hubungan antara putaran 400 rpm terhadap nilai koefisien rolling resistance	42
Gambar 4.10 Hubungan antaraputaran 400 rpm terhadap nilai rolling resistance	43
Gambar 4.11 Hubungan antara putaran 420 rpm terhadap nilai koefisien rolling resistance	44
Gambar 4.12 Hubungan antara putaran 420 rpm terhadap nilai rolling resistance	45
Gambar 4.13 Luasan kontak beban radial.....	46
Gambar 4.14 Membuka lembar kerja pada 3DS Solidworks 2013.....	47
Gambar 4.15 Tampilan bearing 3DS Solidworks 2013	47
Gambar 4.16 Tampilan menu 3DS Solidworks 2013	47
Gambar 4.17 Menu evaluate 3DS Solidworks 2013.....	48
Gambar 4.18 Luas area pada bearing 6000	48
Gambar 4.19 Luas area pada bearing 6001	48

Gambar 4.20 Luas area pada bearing 6200.....	49
Gambar 4.21 Luas area pada bearing 6201.....	49
Gambar 4.22 Luas area pada bearing 6300.....	49
Gambar 4.23 Luas area pada bearing 6301.....	50



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi flywheel	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Bearing	27



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sarana transportasi sangat pesat, sejak ditemukannya mobil bertenaga uap pertama kali di dunia oleh Nicolas Joseph Cugnot dari Perancis pada tahun 1879. Carl Benz berkebangsaan Jerman menemukan mobil berbahan bakar bensin pada tahun 1886. Rudolph Diesel, seorang ilmuwan Jerman memperkenalkan prototipe pertama mesin diesel. (Pratama. O, FT UI, 2008)

Hampir 100% alat transportasi yang meluncur di jalan-jalan seluruh dunia sekarang didominasi oleh kendaraan berbahan bakar fosil (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2015). Energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional (DEN) menginformasikan bahwa kebutuhan dan ketersediaan energi di Indonesia pada tahun 2015 mencatat cadangan minyak bumi mengalami penurunan 2,3 %. Cadangan minyak pada tahun 2014 sebanyak 3,75 miliar barel, sedangkan cadangan terbukti 3,62 miliar barel. (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2015).

Alat transportasi di Indonesia didominasi kendaraan bermotor berbahan bakar fosil. Jumlah kendaraan mencapai 121,39 juta unit berdasarkan data tahun 2015. Data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan, dari angka tersebut sepeda motor menduduki peringkat pertama dengan jumlah 98,88 juta unit (81,5 %), mobil penumpang 13,48 juta unit (11,11 %), mobil barang 6,6 juta unit (5,45 %), bis 2,4 juta unit (1,99%) dari total kendaraan. Keseluruhan kendaraan bermotor tersebut menyebabkan pencemaran udara karena emisi gas buang.

Gas buang kendaraan bermotor menandung zat – zat berbahaya antara lain, karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO), sulfur dioksida (SO), dan partikulat (PM10). Kota-kota besar berkontribusi sebagai penghasil gas buang antara-60-70% (BPLH DKI Jakarta, 2013). Berbagai usaha dilakukan untuk menyelamatkan lingkungan (*green environment*) pada sektor alat transportasi, salah satunya adalah pengembangan mobil listrik.

Mobil listrik merupakan kendaraan yang menggunakan tenaga penggerak berupa motor listrik dengan sumber energi yang berasal dari baterai. Mobil listrik mulai dipopulerkan pada awal abad ke-20 (Sperling dkk., 2009).

Penggunaan mobil listrik merupakan solusi dari kelangkaan energi serta akan mengurangi efek *global warming* karena tidak menimbulkan polusi udara. Dampak polusi udara terhadap kesehatan sangat penting, karena 56% penduduk Indonesia terkontaminasi lebih besar dari nilai ambang batas yaitu PM 2,5 (IEA, 2016). Tingkat perbaikan polusi udara dan emisi tergantung kendaraan bebas emisi.

Efisiensi kendaraan tergantung pada teknologi rancangannya. Tiga faktor dasar yang mempengaruhi efisiensi kendaraan yaitu massa kendaraan (*mass*), hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*) dan tahanan gelinding (*rolling resistance*) (M. Juhala, 2014). *Rolling resistance* berperan besar terhadap konsumsi bahan bakar kendaraan sekitar 7 - 10% dari konsumsi energi total kendaraan. Pengurangan 10% *rolling resistance* akan menyebabkan peningkatan 2 - 3% dalam penghematan bahan bakar kendaraan (M. Juhala, 2014). Bearing merupakan salah satu komponen mesin yang mempengaruhi nilai *rolling resistance*.

Bearing adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk menopang poros dalam kondisi berputar dan mempunyai beban (Sularso, 1997). Gerakan *bearing* saat bekerja didukung oleh *ball* atau *roller* yang terdapat diantara *inner* (cincin dalam) dan *outer* (cincin luar). Pada saat salah satu cincin berputar atau menggelinding akan menghasilkan gesekan yang menyebabkan adanya hambatan gelinding (*rolling resistance*) pada kendaraan. Gaya *rolling resistance* bearing disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara *ball bearing* dengan *inner* maupun *outer bearing* (Kurniawan, 2017).

Spesifikasi *bearing* yang sering ditampilkan oleh pabrikan adalah seri *number*, suaian, dimensi, material, *sealing*, dan *cage*. Belum dijumpai informasi nilai *rolling resistance* dari suatu produk *bearing*. *Bearing* yang dibutuhkan untuk merancang kendaraan efisien yaitu memiliki nilai *rolling resistance* sekecil mungkin serta kuat dalam menopang beban kendaraan (M. Juhala, 2014).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh I.M. Jamadar dan D.P. Vakharia (2016) menyatakan bahwa model analisis yang dikembangkan dalam penelitian “*Model Development for Investigation of Localized Defects in Taper Roller Bearings Using Matrix Method of Dimensional Analysis*”, pengujian pada suatu produk *bearing* dilakukan untuk mendeteksi cacat dengan mengamati getaran yang dihasilkan. Pengaruh berbagai parameter bantalan seperti beban radial, beban aksial, kecepatan putar *bearing*, jenis pelumasan, suaian, serta jumlah *roller* diselidiki terhadap getaran yang dihasilkan. Penambahan nilai *amplitude* getaran digunakan sebagai parameter *output* untuk karakterisasi tingkat kerusakan pada bantalan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Achmad Fitoyo (2017), dalam penelitian “Analisis Kualitas Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* terhadap *Rolling Resistance* pada Mobil Listrik Titen *Prototype*” pengujian produk bearing dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter seperti gaya tangensial dan kecepatan putaran pada bearing terhadap nilai *rolling resistance*. Dalam penelitian ini pengujian menggunakan metode *response surface* dalam mengoptimalkan bantalan terhadap *rolling resistance*.

Setelah mengamati dan mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya, maka dapat diketahui bahwa banyak sekali faktor yang mempengaruhi *rolling resistance* sehingga perlu untuk mengangkat penelitian dengan judul “Analisis *Rolling Resistance* Pada *Single Row Deep Groove Ball Bearing*” dengan menggunakan metode pemberian beban pada *bearing* dengan menggunakan *flywheel* yang diharapkan sesuai dengan kondisi aktual. Pada akhirnya penelitian ini memberikan informasi seri *number bearing* yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil. Penelitian ini dianggap penting karena bisa digunakan sebagai kajian dan informasi untuk pemilihan seri *number bearing* dalam memenuhi rancangan mobil listrik hemat energi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan kajian pustaka tersebut diatas dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut : “Bagaimanakah karakteristik *bearing* seri *single row*

deep groove ball bearing terhadap koefisien *rolling resistance* dan gaya *rolling resistance*".

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencapai tujuan yang diharapkan dan agar penulisan skripsi ini lebih terarah, maka dalam penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas keausan bearing
2. Pengujian dilakukan menggunakan *single row deep groove ball bearing*.
3. Tidak membahas pengaruh pelumas terhadap *rolling resistance*
4. Seri *number bearing* yang di uji yaitu : 6000, 6001, 6200, 6201, 6300, 6301,
5. Tidak membahas pengaruh korosi
6. Berat yang digunakan pengujian sebesar 165, 177, 207 N.
7. Putaran *bearing* dijalankan pada putaran 380, 400, 420 (rpm)
8. Motor listrik yang dipakai adalah motor listrik AC dengan spesifikasi 220 Volt dengan daya maksimum 750 watt, dan Rpm maksimum motor 2850 rpm.
9. Suhu pengujian pada kondisi suhu ruangan.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh *beban bearing*, dan kecepatan putar *bearing* terhadap gaya *rolling resistance* (F_r).
2. Mengetahui pengaruh diameter *single row deep groove ball bearing* terhadap gaya *rolling resistance* (F_r).

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Memberikan dasar wawasan untuk memilih *bearing* yang memiliki nilai *rolling resistance* sekecil mungkin
2. Sebagai dasar rujukan dalam pemilihan karakterisasi bearing

3. Memberikan andil pemecahan masalah dalam teknologi otomotif
4. Turut andil untuk pengembangan teknologi mobil listrik di Indonesia



BAB 2. TINJAUAN PUSAKA

2.1 *Bearing*

Bearing merupakan elemen mesin yang digunakan untuk menumpu poros yang berberat, sehingga putaran atau gesekan bolak baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan tahan atau memisahkan antara bagian yang berputar dengan bagian yang diam. *Bearing* tersebut dapat memikul berat radial, aksial dan kombinasi serta harus kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya dapat bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja secara semestinya. Jadi, *bearing* dalam permesinan dapat disamakan peranannya dengan pondasi sebuah gedung. (Sularso, 1997)

2.1.1 Fungsi *Bearing*

Bearing merupakan elemen mesin untuk menumpu poros yang berputar maupun bergeser. Berikut merupakan fungsi dari *bearing* :

a. Menumpu berat

Dalam pemilihan *bearing* diperlukan untuk menahan berat yang bervariasi dimana berat tersebut ditahan oleh bearing. Berat yang dihasilkan menimbulkan gesekan dari *center line shaft* disebut *radial load* dan arah dari gerakan *shaft* ke kiri kekanan karena putaran disebut *thrust load*.

b. Mengurangi gesekan

Gesekan terjadi akibat dua permukaan bergerak yang saling bersentuhan. Akibat dari gesekan menimbulkan kerusakan pada komponen mesin itu sendiri. Bearing dipilih untuk mengurangi gesekan yang terjadi pada bidang kontak. Pada poros yang berputar terjadi gesekan antara poros dan *bearing*. Gesekan yang terjadi dapat dikurangi dengan cara memperkecil bidang kontak dengan menggunakan elemen gulir (bola atau rol) sehingga menghasilkan *rolling friction* (Hermawan, 2012).

c. Menjaga toleransi elemen yang bergerak

Ketika berputar *bearing* mengatur posisi elemen yang bergerak guna menahan agar bagian yang bergerak tetap pada posisinya. Selain harus mampu menahan agar tidak terjadi pergerakan ke satu arah atau lebih, *bearing* harus memungkinkan tidak terjadinya pergerakan ke arah yang lain. (Hermawan, 2012)

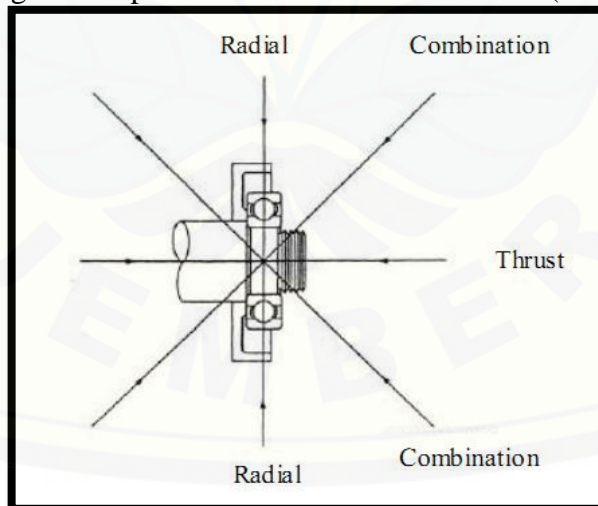
2.1.2 Klasifikasi *Bearing*

Bearing dapat diklasifikasikan berdasarkan menurut arah berat dan berdasarkan konstruksinya atau mekanismenya.

a. Berdasarkan arah berat

Berdasarkan arah berat yang bekerja pada *bearing*, *bearing* dapat diklasifikasikan menjadi :

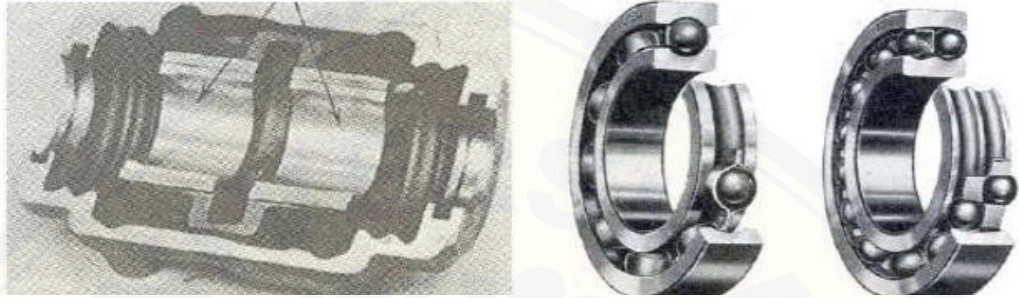
1. *Bearing* radial merupakan *bearing* yang menahan berat secara tegak lurus terhadap sumbu poros.
2. *Bearing* aksial merupakan *bearing* yang menumpu berat sejajar dengan sumbu poros.
3. *Bearing* yang menumpu berat secara radial dan aksial (berat tangensial)



Gambar 2.1 Arah beban pada bearing
(Hermawan. 2012)

b. Berdasarkan konstruksi dan mekanismenya

Berdasarkan konstruksi dan mekanismenya mengatasi gesekan *bearing* diklasifikasikan menjadi dua yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 yaitu *bearing* luncur (*slider bearing*) dan *bearing* gelinding (*rolling bearing*).

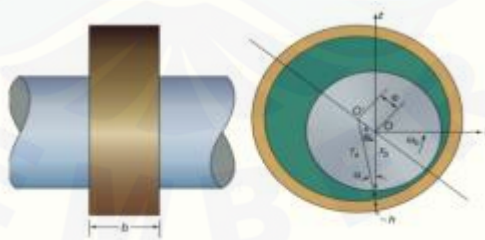


Gambar 2.2 Konstruksi *bearing* luncur dan *bearing* gelinding (Hermawan, 2012)

1. *Bearing* Luncur (*slider bearing*)

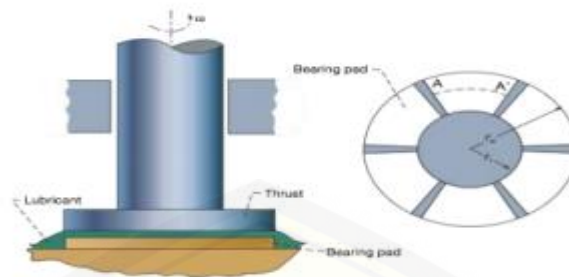
Bearing luncur yang digunakan pada gesekan antara poros dan *bearing* karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan *bearing* dengan perantara lapisan pelumas. Hal ini berbeda dengan *bearing* gelinding dimana bola atau *roller* dipasang diantara dua permukaan geser. *Bearing* luncur terdiri atas dua jenis *bearing*, yaitu :

a) *Sleeve bearing* yang bentuknya silindris dan menahan berat radial yang tegak lurus pada sumbu poros yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Sleeve bearing* (Hermawan, 2012)

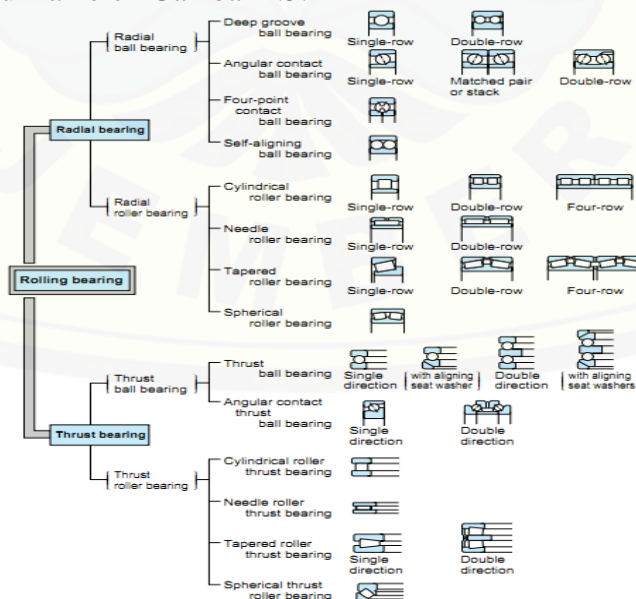
b) *Thrust bearing* dimana pada kasus poros yang berputar dapat menahan berat yang searah dengan sumbu poros yang ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Thrust bearing* (Hermawan, 2012)

2. *Bearing gelinding (rolling bearing)*

Bearing gelinding merupakan *Bearing* yang diciptakan untuk mengatasi perpindahan geser dari plain *Bearing* menjadi pergerakan putar dengan jalan menambahkan elemen yang bisa berputar diantara cincin/silinder bagian luar dan bagian dalam *Bearing*. Kontak gelinding terjadi antara elemen ini dengan komponen lain yang berarti pada permukaan kontak tidak ada gerakan relatif. *Bearing gelinding* secara umum *Bearing gelinding* dibagi menjadi dua yaitu *Bearing radial (radial bearing)* dan *Bearing aksial (thrust bearing)*. Untuk *Bearing radial* memiliki sudut kontak $(0^{\circ} \leq \alpha \leq 45^{\circ})$ sedangkan *Bearing aksial* $(45^{\circ} < \alpha \leq 90^{\circ})$. Berikut merupakan klasifikasi dari *rolling bearing* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.5.



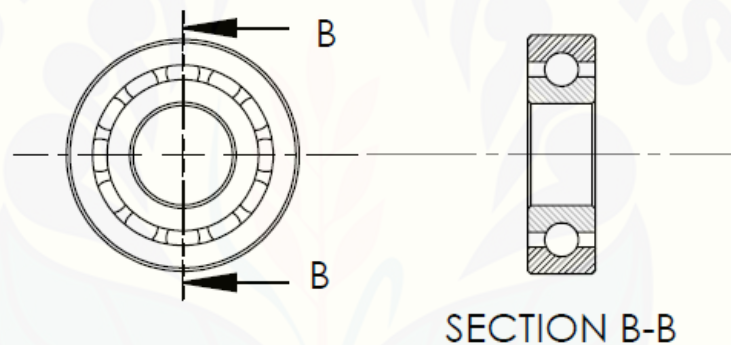
Gambar 2.5 Klasifikasi *rolling bearing* (Seiko, 1997)

2.1.3 Deep Groove Ball Bearing

Deep Groove Ball Bearing termasuk dalam *Bearing* gelinding yang tersedia dalam variasi ukuran. Seri *number bearing* ini dapat menahan berat radial dan berat axial tertentu dengan kedua arah secara simultan. Dalam klasifikasinya *deep groove ball bearing* dibagi menjadi 2 yaitu :

a. *Single row deep groove ball bearing*

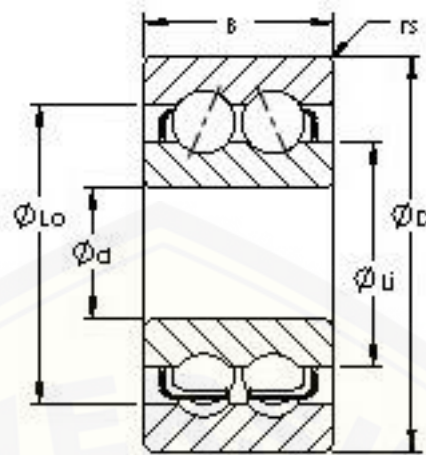
Single row deep groove ball bearing merupakan *Bearing* yang mempunyai satu alur dalam cincinnya yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Karena memiliki alur maka *Bearing* jenis ini memiliki kapasitas dapat menahan berat secara ideal pada ara radial dan aksial. Berat radial sendiri memiliki arti berat yang tegak lurus terhadap sumbu poros, sedangkan berat aksial adalah berat yang searah sumbu poros.



Gambar 2.6 *Single row deep groove ball bearing* (Seiko, 1997)

b. *Double row deep groove ball bearing*

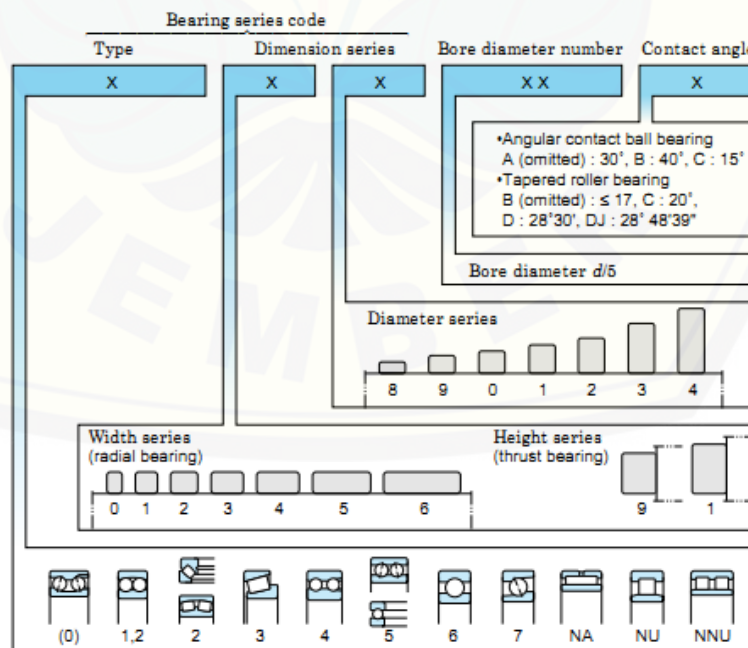
Double row deep groove ball bearing mempunyai dua baris bola, masing – masing baris mempunyai alur sendiri sendiri pada cincin bagian dalamnya yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pada umumnya cincin bagian dalamnya mampu bergerak sendiri untuk menyesuaikan posisinya. Inilah kelebihan dari jenis *double row deep groove ball bearing* dapat mengatasi masalah poros yang kurang sebaris.



Gambar 2.7 Double row deep groove ball bearing (Seiko, 1997)

2.1.4 Kode Spesifikasi Bearing

Spesifikasi *Bearing* dalam melakukan pemesanan atau pembelian *bearing* perlu diperhatikan karena kode *bearing* tersebut yang nanti digunakan untuk pemilihan *bearing* yang sesuai. Pada *bearing* diberikan pengkodean yang pada terbagi menjadi dua yaitu kode dasar (*basic code*) dan kode tambahan (kode keterangan). Berikut merupakan sistem pengkodean dalam *Bearing*. Berikut ini merupakan sistem kode spesifikasi *Bearing* yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sistem kode klasifikasi Bearing (Seiko, 1997)

Untuk Keterangan pada Gambar 2.8 adalah sebagai berikut

Indeks	Uraian
0	sudut kontak <i>ball bearing</i>
1	<i>Self-aligning ball bearing</i>
2	<i>Sel aligning ball bearing, spherical roller bearing dan spherical thrust roller bearing</i>
3	<i>tapered roller bearing</i>
4	<i>Deep groove ball bearing (double row)</i>
5	<i>thrust ball bearing, Angular contact ball bearing (double row)</i>
6	<i>Deep groove ball bearing (single row)</i>
7	<i>Angular contact ball bearing (single row)</i>
NA	<i>Needle roller bearing (single row, double row)</i>
N,NU	<i>Cylindrical roller bearing (single row)</i>
NN, NNU	<i>Cylindrical roller bearing (double row)</i>

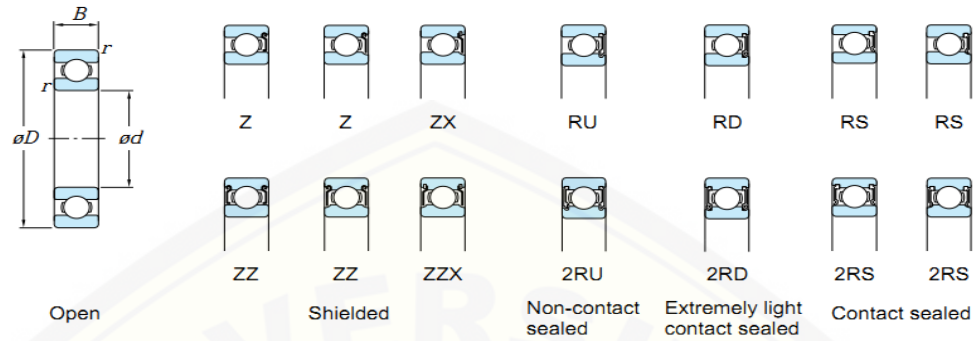
Dalam pengkodean *Bearing* sangat penting untuk digunakan dalam penjualan produk agar dapat menentukan *Bearing* yang sesuai. Berikut contoh dalam pengkodean *Bearing*.

6203ZZ C3 P6 :

Indeks	Uraian
Kode pertama = 6	Seri <i>number Bearing single row deep groove ball bearing</i>
Kode kedua =2	menyatakan ketahanan <i>Bearing</i> , dimana seri penomoran dimulai dari ketahan paling ringan sampai paling berat.
kode 0 sampai dengan 3	diameter bore <i>Bearing</i>
Kode ZZ	seri <i>number jenis penutup Bearing</i> ataupun bahan <i>Bearing</i>
Kode C3	kode untuk menyatakan kelonggaran pada seal <i>Bearing</i>
Kode P6	kode untuk menyatakan kelas ketelitian 6.

Bearing single row deep groove ball bearing memiliki berbaai macam bentuk seal, yang gunanya sebagai pelindung agar terhindar dari kotoran. Penggunaan seal memiliki keuntungan dan kekurangan masing - masing, sebagai contohnya *Bearing* yang memiliki seri *number seal* yang terbuka memiliki tingkat gesekan yang lebih rendah namun mudah sekali kotor. Sedangkan *Bearing* yang memiliki seal cenderung melindungi *roll Bearing* dan memerlukan pemeliharaan secara berkala. Oleh karena itu pemberian pelumas sangat dianjurkan. Berikut

yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 merupakan jenis seal pada *single row deep groove ball bearing*.



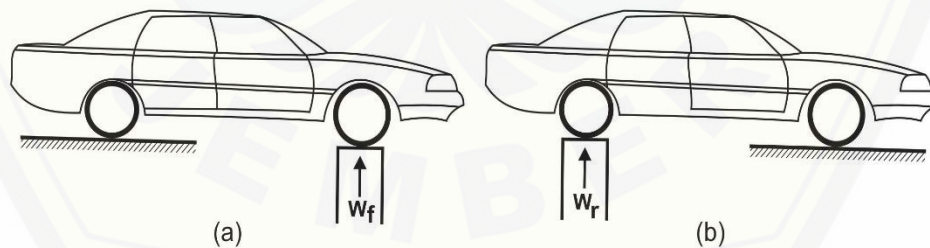
Gambar 2.9 Jenis seal *single row deep groove ball bearing* (Seiko, 1997)

2.2 Berat Bearing

Berat bekerja pada *Bearing* dibagi menjadi tiga jenis yaitu berat radial, berat aksial, dan berat gabungan (berat radial dan berat aksial). Dalam pemilihan produk *Bearing*, berat merupakan salah satu yang diperhitungkan karena merupakan faktor yang berpengaruh.

2.2.1 Beban radial

Beban radial merupakan beban yang ditumpu *bearing* secara tegak lurus terhadap sumbu poros. Beban radial pada penelitian ini diperoleh dari *beban bearing*. Gambar 2.10 merupakan beban pada roda kendaraan.



Gambar 2.10 Beban radial pada roda kendaraan (Sutantra, 2010)

$$W_t = W + W_r \tag{2.1}$$

dengan:

W = Berat roda depan

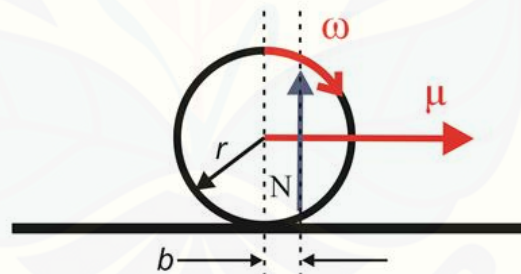
W_r = Berat roda belakang

2.3 Rolling Resistance (RR)

Rolling resistance pada *Bearing* adalah tahanan terhadap elemen *rolling* yang bekerja pada *Bearing* karena adanya gesekan antara dua permukaan yang berputar atau menggelinding. Tahanan gelinding (*rolling resistance*) merupakan segala gaya – gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerak gerakan yang sedang berjalan. Tahanan gelinding (*rolling resistance*) bisa disebut juga sebagai besarnya tenaga tarik yang dibutuhkan untuk menggerakkan tiap ton kendaraan.

2.3.1 Rolling Resistance pada *Bearing*

Pada dasarnya *rolling resistance* adalah momen yang digunakan elemen roliing pada *Bearing* untuk melawan arah gerakan, setara dengan yang dibutuhkan untuk menggerakkan *Bearing*. Gambar 2.11 menunjukkan bahwa elemen *Bearing* mendapat gaya normal (N) sebesar berat yang ditumpu, kemudian kontak gesek antar elemen yang terjadi dimodelkan dengan bergerak maju pada bidang datar. Perpindahan antara gaya normal (b) menunjukkan koefisien *friction* (μ) yang terjadi pada *Bearing* atau setara dengan tahanan gelinding yang terjadi, dan r adalah radius elemen bergulir dari *Bearing* yang dipengaruhi kecepatan sudut (ω).



Gambar 2.11 Fenomena *rolling resistance* pada *Bearing* (Gomez, 2016)

$$b = \mu \cdot r \quad (2.2)$$

Dimana :

b = Jarak antara elemen bergulir dan titik penerapan gaya normal

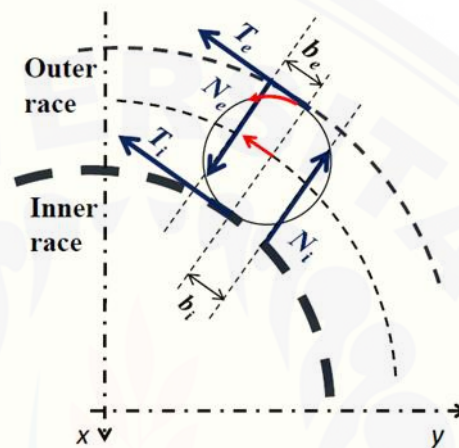
μ = Koefisien *friction*

r = Radius elemen bergulir

ω = kecepatan sudut

N = Gaya Normal

Fenomena *rolling resistance* dalam diagram benda bebas (DBB) pada Gambar 2.12 merupakan gesekan antara elemen *rolling* dan permukaan *inner Bearing*. Namun dalam prakteknya fenomena *rolling resistance* sangat sulit untuk menganalisa parameter yang signifikan secara rinci karena elemen *rolling* saling berkorelasi, namun jumlah panas merupakan indikasi dari jumlah perlawanan. (M. Juhala, 2014)

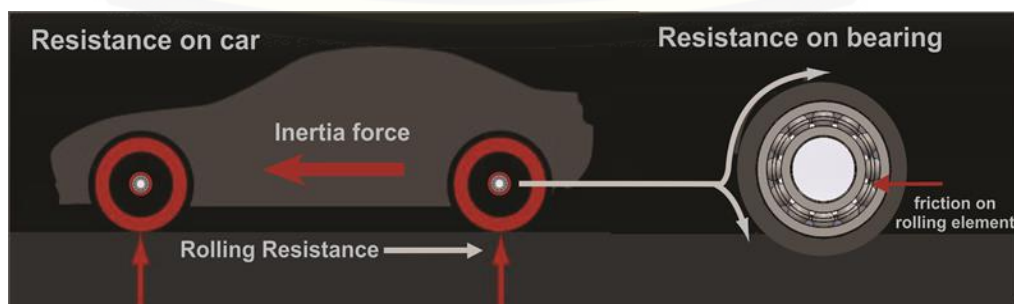


Gambar 2.12 FBD elemen *rolling resistance* pada *Bearing* (Gomez, 2016)

Keterangan :

- b = Jarak antara elemen *rolling* dan titik gaya normal
- N = Gaya normal
- ω = Kecepatan sudut
- T = Gaya tangensial pada *inner Bearing* dan *outer Bearing*

Bearing memiliki pengaruh terhadap *rolling resistance* yang terjadi pada poros kendaraan. Dimana *rolling resistance* merupakan segala gaya gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerak kendaraan yang berjalan. Gambar 2.13 merupakan posisi *Bearing* pada poros roda.



Gambar 2.13 *Bearing* pada poros kendaraan (Kurniawan, 2017)

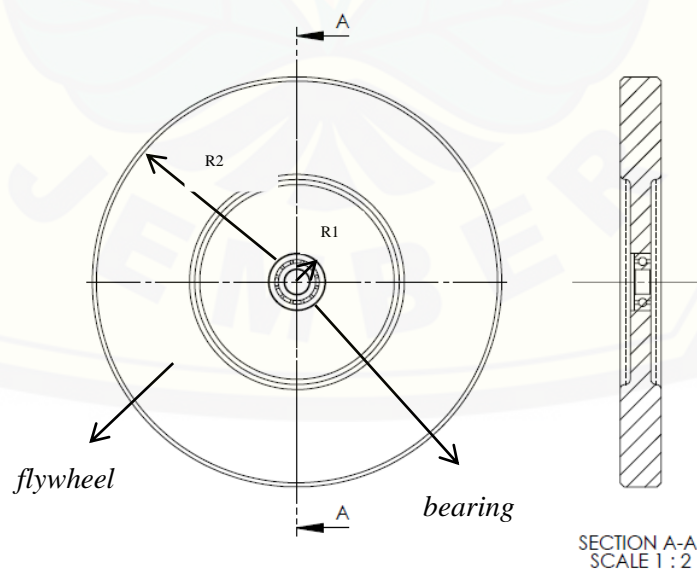
2.3.2 Faktor yang mempengaruhi *rolling resistance*

Clark dkk. (1979) menyebutkan ada beberapa faktor yang mempengaruhi *rolling resistance Bearing*, antara lain sebagai berikut :

- c) kecepatan *bearing*
- d) Kualitas produk *bearing*
- e) Pelumas yang digunakan
- f) Berat radial dan berat aksial yang bekerja pada *Bearing*

2.4 Momen Inersia *Bearing*

Momen Inersia pada *bearing* dapat mempengaruhi besar gaya yang dibutuhkan untuk memutar *bearing*. Momen inersia yang dimiliki suatu *flywheel* yang berputar dapat hitung dengan penjumlahan hasil kali massa *flywheel* dengan kuadrat jarak sumbu *flywheel*. Bentuk geometri dari *flywheel* digunakan untuk menghitung momen inersia yang dimiliki. *Bearing* yang berbentuk cincin dan memiliki ketebalan dapat dihitung menggunakan rumus dari bentuk benda silinder berongga. Berikut penjelasan bentuk geometri dari *bearing* dan *flywheel* untuk menghitung momen inersia yang dimilikinya.



Gambar 2.14 Bentuk geometri *Bearing* dan *flywheel*

Gambar 2.14 merupakan asumsi pemodelan rumus momen inersia pada *Bearing*. Sesuai dengan asumsi diatas maka rumus momen inersia (I) yang digunakan yaitu rumus momen inersia silinder berongga. Berikut rumusnya :

$$I = \frac{1}{2} M \times (R_2^2 + R_1^2) \quad (2.3)$$

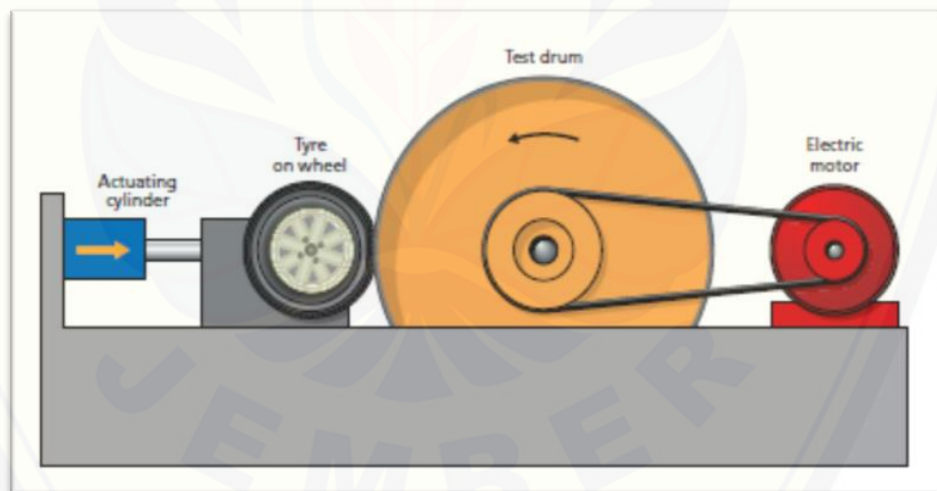
dengan:

M = Massa benda (kg)

R = Jarak sumbu benda/jari-jari benda (m)

2.5 Pengujian Rolling Resistance

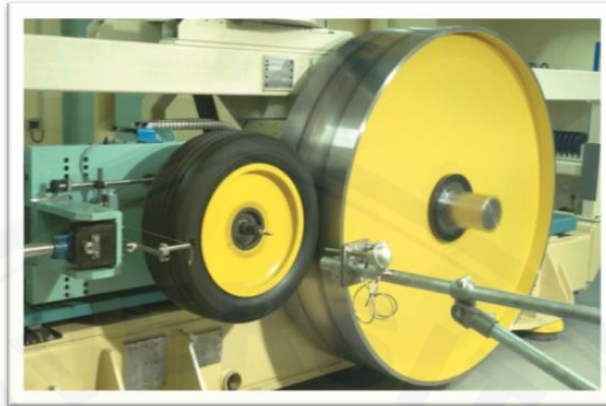
Gent & Walters (2005) menyatakan pada pengukuran *rolling resistance* terdapat Standar internasional atau standart industri yang ditunjukkan oleh Gambar 2.15. Sebuah alat uji laboratorium untuk *rolling resistance* terdiri dari *drum* tes, silinder sejajar dengan pusat drum, dan ban yang akan diuji. Ban yang senggolkan terhadap drum, yang diputar oleh motor.



Gambar 2.15 Pengujian *Rolling Resistance* menggunakan *Drum* Standar ISO 8767 dan 9948 (Michellin Tyre Article, 2003)

Rolling resistance ban mengacu terhadap efek pengereman rotasi *drum*, dan efek ini diterjemahkan ke dalam pengukuran kekuatan, torsi, deselerasi, dll. *Rolling resistance* kemudian dihitung dari pengukuran seperti skema gambar. Gambar 2.16 menunjukkan konfigurasi dari prosedur ini. *The Society of*

Automotive Engineers (SAE) dan *International Organization for Standardization* (ISO) keduanya memiliki standar tes masing-masing untuk prosedur ini.



Gambar 2.16 Pengujian *Rolling Resistance* menggunakan *Drum* Standar ISO 8767 dan 9948 (*Michellin Tyre Article*, 2003)

Terdapat beberapa metode pengujian dalam pengujian *rolling resistance* ini. antara lain sebagai berikut:

- a) Metode Gaya (*force method*) yaitu metode yang pengukurannya berdasarkan Gaya resistif yang terjadi pada poros ban
- b) Metode Torsi (*Torque Method*) yaitu metode yang pengukurannya berdasarkan torsi resistif pada hub Drum
- c) Metode Power (*Power Method*) yaitu metode yang didasarkan pada pengukuran daya listrik yang digunakan oleh motor untuk menjaga drum tetap berputar
- d) Metode Perlambatan (*Deceleration Method*) yaitu metode yang didasarkan pada pengukuran perlambatan setelah kekuatan pendorong di drum dihentikan.

Ada beberapa standar pengujian untuk menentukan kondisi pengukuran. Terdapat dua standar yang ditetapkan oleh *Society of Automotive Engineers* (SAE), yaitu SAE J1269 dan SAE J2452, dan dua yang ditetapkan oleh *International Organization for Standardization* (ISO), ISO 18164: 2005 dan ISO 28580: 2009. Standar ini digunakan secara luas dalam industri ban dan otomotif untuk rolling pengukuran rolling resistance.

2.6 Standar Pengujian *Rolling Resistance Bearing*

Metode pengujian pada *Bearing* dilakukan dengan mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kurniawan, 2017. Pengujian dilakukan untuk menganalisa karakteristik produk *Bearing* ketika diberi variasi parameter kecepatan putar, berat radial, dan berat aksial. Metode pengujian dilakukan secara eksperimental yang diasumsikan *Bearing* bekerja seperti kondisi aktual saat kendaraan berjalan yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Alat uji *rolling resistance* (Kurniawan, 2017)

Keterangan :

1. *Bearing* yang diuji
2. Motor listrik
3. Kopel poros
4. Mekanisme berat radial
5. *Load cell* 50 kg
6. *Tachometer*
7. Mekanisme berat aksial

Pengujian dilakukan dengan memasang *Bearing* pada posisi pengujian. *Load cell* digunakan pada alat uji sebagai pengukur berat aksial dan radial untuk kalkulasi nilai *rolling resistance Bearing*. Model pengujian diasumsikan *Bearing*

bekerja pada kondisi aktual saat kendaraan berjalan, dimana poros diputar menggunakan motor listrik kemudian *Bearing* diberi berat radial dan berat aksial.

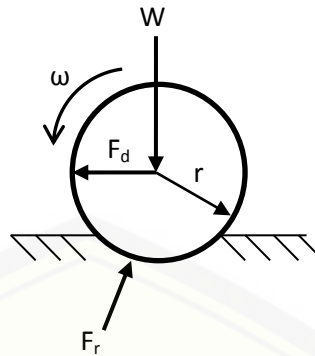
Bearing yang diputar oleh motor listrik kemudian diberi variasi beban *bearing* radial dan aksial secara berulang untuk menunjukkan kinerja dari *Bearing*. Sumber putaran dari motor listrik ditransmisikan ke *Bearing* menggunakan sistem *inrunner*. Pada pengujian *Bearing* akan menghasilkan informasi dari *Bearing* yang diuji. Informasi tersebut berupa spesifikasi *Bearing* yang menggambarkan performa yang dimiliki *Bearing*. Berikut adalah gambar hasil spesifikasi produk yang telah dilakukan oleh salah satu merek terkenal *Bearing* di eropa.

2.6.1 Pengujian *Rolling Resistance* Standar ISO 18164: 2005

Standar ISO ini adalah metode yang digunakan untuk mengukur rolling resistance dibawah kondisi laboratorium dengan parameter yang terkendali, untuk ban pneumatik yang dirancang untuk digunakan pada sepeda motor dan mobil penumpang, truk dan bus. Hubungan antara nilai-nilai yang diperoleh dan efisiensi bahan bakar kendaraan belum ditentukan, dan nilai-nilai tersebut tidak dimaksudkan untuk digunakan untuk menunjukkan tingkat kinerja atau kualitas.

Standar pengujian *rolling resistance Bearing* kali ini akan menggunakan standar pengujian *rolling resistance* ban dan standar pengujian *Bearing* yang telah dilakukan oleh Singgih Kurniawan dan Asger Bech A. *Bearing* yang berputar pada kecepatan tertentu akan diberi variasi beban *bearing*. Gaya *rolling resistance Bearing* diperoleh dengan menghitung *coefficient of friction* dari *drag force* elemen gelinding *Bearing*

Sehingga standar pengujian *rolling resistance Bearing* kali ini akan mengkolaborasikan standar yang dipakai oleh Singgih Kurniawan dan Asger Bech A dengan standar ISO 18164. Berikut ilustrasi metode pengujian *rolling resistance* pada *Bearing* dengan beban *bearing* pada *flywheel* yang ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Ilustrasi metode pengujian *rolling resistance* pada *Bearing*
(Abrahamsen, 2001)

Keterangan :

- W : Beban (N)
- F_d : Gaya hambat (N)
- F_r : Gaya *rolling resistance* (N)
- ω : Kecepatan sudut (rad/s)

2.6.2 Parameter Peralatan Uji

- a. Berat, keselarasan, kontrol dan akurasi alat ukur

Pengukuran parameter-parameter harus cukup akurat dan tepat untuk mendapatkan data uji dibutuhkan.

- b. Berat uji

Berat uji diperoleh dari nilai nilai perumusan

- c. Diameter *Bearing*

2.6.3 Perhitungan *Rolling Resistance*

Gaya *rolling resistance* merupakan perhitungan dari gaya hambat (F_D) terjadi pada elemen *Bearing* yang menghasilkan nilai torsi dan gaya angkat dipengaruhi 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 *Bearing* setelah diberi pada variasi beban *bearing* dan variasi kecepatan. Gaya hambat F_D pada *Bearing* dikarenakan adanya torsi pada sumbu rotasi poros.

$$T = R_D \cdot F_D = -I \frac{dw}{dt} \quad (2.4)$$

Dimana :

T = Torsi (N)

F_D = Gaya hambat (N)

R_D = Jari-jari *inner Bearing* (m)

I = Momen Inersia (Nm)

Perhitungan Koefisien *Rolling Resistance*

Koefisien *rolling resistance* (C_r), dihitung dengan membagi gaya hambat dengan *Beban bearing*.

Dengan Persamaan:

$$C_r = \frac{F_D}{Wf} \quad (2.5)$$

Dimana :

C_r : Koefisien *rolling resistance*

F_D : Gaya Hambat, dalam newton (N)

W : *beban bearing* (N)

Nilai F_D diperoleh dari gaya pada *Bearing* akibat torsi yang berotasi pada *inner Bearing*.

$$F_D = -I \frac{d\omega}{dt} \quad (2.6)$$

Dimana :

I : Momen Inersia (N)

$d\omega$: Perubahan kecepatan sudut (rad/s)

dt : Selisih waktu (s)

nilai $d\omega$ merupakan nilai perubahan-dari kecepatan sudut dengan satuan rad/s.

$$d\omega = \omega_1 - \omega_0 \quad (2.7)$$

$$\omega = 2 \frac{\text{phi } n}{60}$$

Dimana :

$d\omega$: Perubahan kecepatan sudut (rad/s)

n : kecepatan *putar bearing* (rpm)

Sedangkan untuk W merupakan *Beban bearing*.

$$W = m \cdot g \quad (2.8)$$

Dimana :

m : massa *flywheel* (N)

g : gaya gravitasi (9.8)

Sehingga C_r memiliki Persamaan berikut :

$$C_r = \frac{1}{2} \frac{(R_2^2 + R_1^2) d\omega}{g R_D dt} \quad (2.9)$$

Dimana :

C_r : Koefisien *Rolling resistance*

R_2^2 : jari – jari *Flywheel* (m)

R_1^2 : Jari – jari *outer Bearing* (m)

R_D : Jari – jari *inner Bearing* (m)

$d\omega$: Perubahan kecepatan sudut (rad/s)

dt : Selisih waktu (s)

Gaya *rolling resistance* merupakan perhitungan dari nilai koefisien *rolling resistance* (C_r) yang terjadi pada elemen *Bearing* dengan *beban bearing* (W) yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi pada *flywheel*.

$$F_r = C_r \cdot W \quad 2.10)$$

Dimana :

C_r : Nilai koefisien *rolling resistance*

W : beban *bearing* (N)

2.7 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah gaya *rolling resistance* di pengaruhi dari beberapa faktor. Gaya *rolling resistance* semakin meningkat dengan bertambahnya beban *bearing*. Beban *bearing* memperbesar luasan area yang saling berkontak pada *ball bearing*. Dan *bearing* akan mengalami kerugian ketika mendapatkan putaran yang terlalu tinggi. Putaran pada *bearing* menyebabkan adanya deformasi *elastic* pada *bearing*.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian uji *rolling resistance* dilakukan di Laboratorium Desain, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Model penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dengan alat uji *rolling resistance* seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

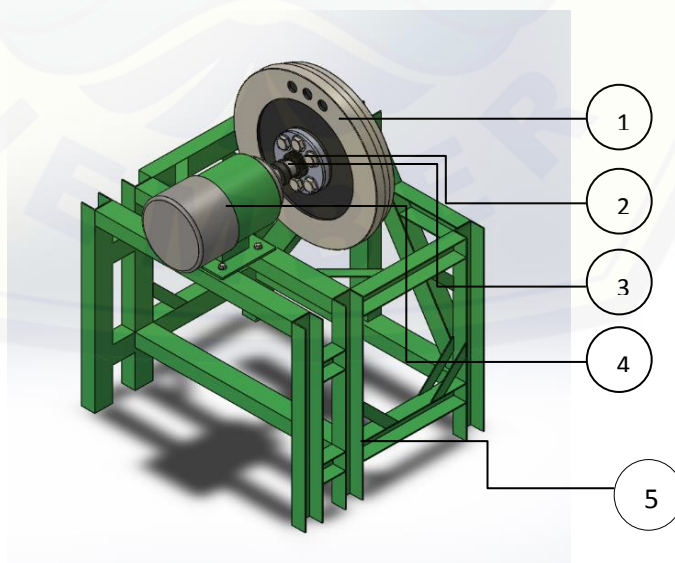
Peralatan akan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *Software CAD 3DS Solidworks 2013*

Software CAD 3DS Solidworks 2013 digunakan untuk merancang dan menggambar alat uji *rolling resistance* secara *2D modelling* maupun *3D modelling*.

- b. *Alat uji rolling resistance*

Alat uji rolling resistance digunakan untuk mencari nilai dari perubahan *putaran bearing* (n) dan selisih waktu (s)



Gambar 3.1 Alat uji *rolling resistance bearing*

Keterangan :

1. *Flywheel*
2. *Dogclutch*
3. Poros
4. Motor Listrik
5. Rangka

c. *Tachometer* digital

Tachometer dalam penelitian ini digunakan untuk mengukur putaran *flywheel* dalam satuan *rev/min* (rpm) pada saat dilakukan start pengukuran waktu putaran *bearing* sampai berhenti.



Gambar 3.2 *Tachometer*

Spesifikasi sebagai berikut :

- 1) *Type* : Digital tachometer
- 2) *Contact test range* : 20 – 20.000 rpm
- 3) *Accuracy* : 0,05% + 1 digit
- 4) *Resolution* : 0,1 rpm
- 5) *Battery* : 3 AA series

d. *Flywheel*

Flywheel digunakan sebagai berat radial yang diterima bearing saat pengujian. Dalam pengujian, *flywheel* digunakan untuk menyimpan energi putaran yang dihasilkan oleh motor listrik AC melalui mekanisme transmisi *dogclutch*.



Gambar 3.3 Flywheel

Tabel 3.1 Spesifikasi flywheel

	flywheel 1	flywheel 2	flywheel 3
Berat (Newton)	165	177	207
Jari jari (mm)	153	158	176

e. *Stopwatch*

Stopwatch dalam penelitian ini digunakan untuk mencatat waktu pada sekali pengujian ketika *flywheel* dilakukan *start* pengukuran waktu putaran sampai berhenti .

f. Motor Listrik

Motor listrik digunakan sebagai penggerak *dogclutch* dengan model sistem pemindah daya dari motor listrik ke *flywheel*. Spesifikasi motor listrik sebagai berikut :

- 1) Merk : Yamakoyo
- 2) Motor : Motor AC 220 Volt
- 3) Daya : 750 watt
- 4) Ampere ideal : 30-35A
- 5) RPM maksimum : 2850 rpm
- 6) Torsi : 1 Hp



Gambar 3.4 Motor listrik AC 220 Volt

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6 *bearing single row deep groove ball bearing* yang dijabarkan pada Tabel 3.1, sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi *Bearing*

Seri number	6000	6001	6200	6201	6300	6301
<i>Inner Diameter</i> (mm)	10	12	10	12	10	12
<i>Outer Diameter</i> (mm)	26	28	30	32	35	37
<i>Race</i> <i>Width</i> (mm)	8	8	9	10	11	12
<i>Ball</i> <i>Diameter</i> (mm)	4,762	4,762	4,762	5,953	7,144	7,938
<i>Number of Row</i>	1	1	1		1	1
<i>Number of Ball</i>	7	8	8	7	6	6
<i>Max Speed</i> <i>Grease</i> (rpm)	31.000	27.000	24.000	22.000	22.000	20.000
<i>Static Load</i> (N)	1.950	2.400	2.400	3.050	3.450	4.200
<i>Dynamic Load</i> <i>Rating</i> (N)	4.550	5.100	5.100	6.800	8.100	9.700
<i>Mass</i> <i>Bearing</i> (kg)	0,019	0,022	0,032	0,037	0,053	0,060

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan perubahan variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah *bearing* dengan seri *number* berikut :

- a) 6000 2 RS d) 6201 2 RS
- b) 6001 2 RS e) 6300 2 RS
- c) 6200 2 RS f) 6301 2 RS

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi karena adanya variabel bebas. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a) Koefisien *rolling resisitence* (Cr)
- b) Gaya *rolling resisitence* (Fr)

3.3.1 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel pengendali dari variabel yang diuji dan dibuat tetap. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah :

- a) *Beban bearing*, $W = 165, 177, 207 \text{ N}$

Penentuan beban pada *bearing* diperoleh berdasarkan mobil listrik Titen EV 3 dengan rincian sebagai berikut :

1. Berat pengemudi minimal $W_p = 60 \text{ kg}$. (sumber : KMHE 2017)
2. Berat mobil Titen Ev 3 = 100 kg
3. Perhitungan beban *bearing*

$$\begin{aligned} W &= \frac{\text{total beban}}{8 \text{ bearing}} \\ &= \frac{160}{8} \\ &= 20 \text{ kg} \end{aligned}$$

- b) *Putaran bearing*, $n = 380, 400, 420 \text{ rpm}$

Putaran bearing dihitung berdasarkan regulasi KMHE 2017 yaitu :

1. Panjang lintasan : 1,4 km/lap
2. *Full lap* : 14 km (10x lap)
3. Batas waktu : 30 menit

4. Ukuran roda : 16 *inchi*
 5. Putaran *bearing* yang dibutuhkan dapat sebagai berikut :

Kecepatan : 29, 30,32 km/jam

Kecepatan sudut angular :

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{29 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} \\ &= \frac{483,33 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} \\ &= 378,78 \text{ rpm} \\ &= 380 \text{ rpm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{30 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} \\ &= \frac{500 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} \\ &= 391,84 \text{ rpm} \\ &= 400 \text{ rpm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\omega &= \frac{32 \text{ km/jam}}{1,276 \text{ m}} \\ &= \frac{533,33 \text{ m/menit}}{1,276 \text{ m}} \\ &= 417,97 \text{ rpm} \\ &= 420 \text{ rpm}\end{aligned}$$

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Metode Pengujian

Dalam penelitian ini metode pengujian yang akan dilakukan adalah metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan cara mengamati nilai *rolling resistance* pada *Bearing* ketika diberikan variasi beban *bearing* pada *flywheel* (W) dan *putaran bearing*. Dalam penelitian ini, langkah pengujian yang akan dilakukan untuk mendapatkan nilai *rolling resistance* adalah sebagai berikut :

- a) Perancangan alat uji *Rolling Resistance* dan membuat gambar teknik, gambar teknik diperlukan guna mem-visualisasikan konstruksi alat

pengujian dalam bentuk 2D maupun 3D beserta dimensi yang sebenarnya dengan menggunakan software Software CAD 3DS Solidworks

- b) Merakit komponen *Bearing* dengan perbedaan diameter *Bearing* sesuai pada variabel bebas penelitian.
- c) Memasang *bearing* yang diuji pada *flywheel* sesuai dengan standar pengujian alat uji *rolling resistance*, Ada 6 bearing yang akan diuji yaitu 6000, 6001, 6200, 6201, 6300, 6301
- d) *Bearing* yang diuji pada kondisi posisi standar pengujian dimana berat radial diberikan pada *Bearing*. Beban radial berupa berat *flywheel* dengan beban $W = 165 \text{ N}$, 177 N , dan 207 N .
- e) Memastikan kelistrikan alat dan menghidupkan motor listrik
- f) Mulai melakukan eksperimen dengan menyalakan motor listrik dan mengatur variasi *putaran bearing* $n = 380$, 400 , dan 420 rpm , semisal pengujian pertama pada variasi kecepatan putar 420 rpm .

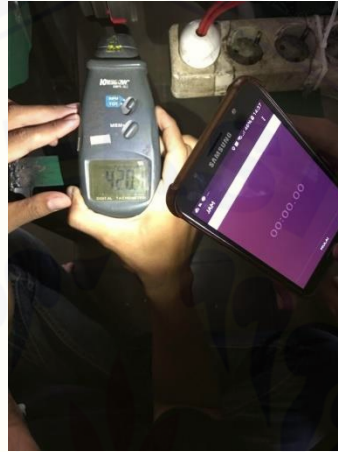


Gambar 3. 5 Pengukuran kecepatan *putar bearing*

Tachometer pada alat uji rolling resistance digunakan untuk mengukur *putaran bearing* (n) sebagai data untuk perhitungan koefisien *rolling resistance* (C_r). Nilai (C_r) pada masing masing *putaran bearing* (n) digunakan sebagai faktor pengali terhadap (W) untuk memperoleh nilai

rolling resistance (F_r). Pengaturan posisi tachometer dilakukan dengan cara mendekatkan sensor dari tachometer pada *flywheel*.

- g) catat perubahan kecepatan sudut ($d\omega$) dan perubahan waktu (dt) dengan menggunakan *smartphone*



Gambar 3.6 Pengukuran selisih waktu

Data pengukuran tersebut dinyatakan sebagai kecepatan *putar bearing* dengan satuan rpm. Hasil dari pengukuran tersebut dijadikan nilai pengali dalam Persamaan 2.7.

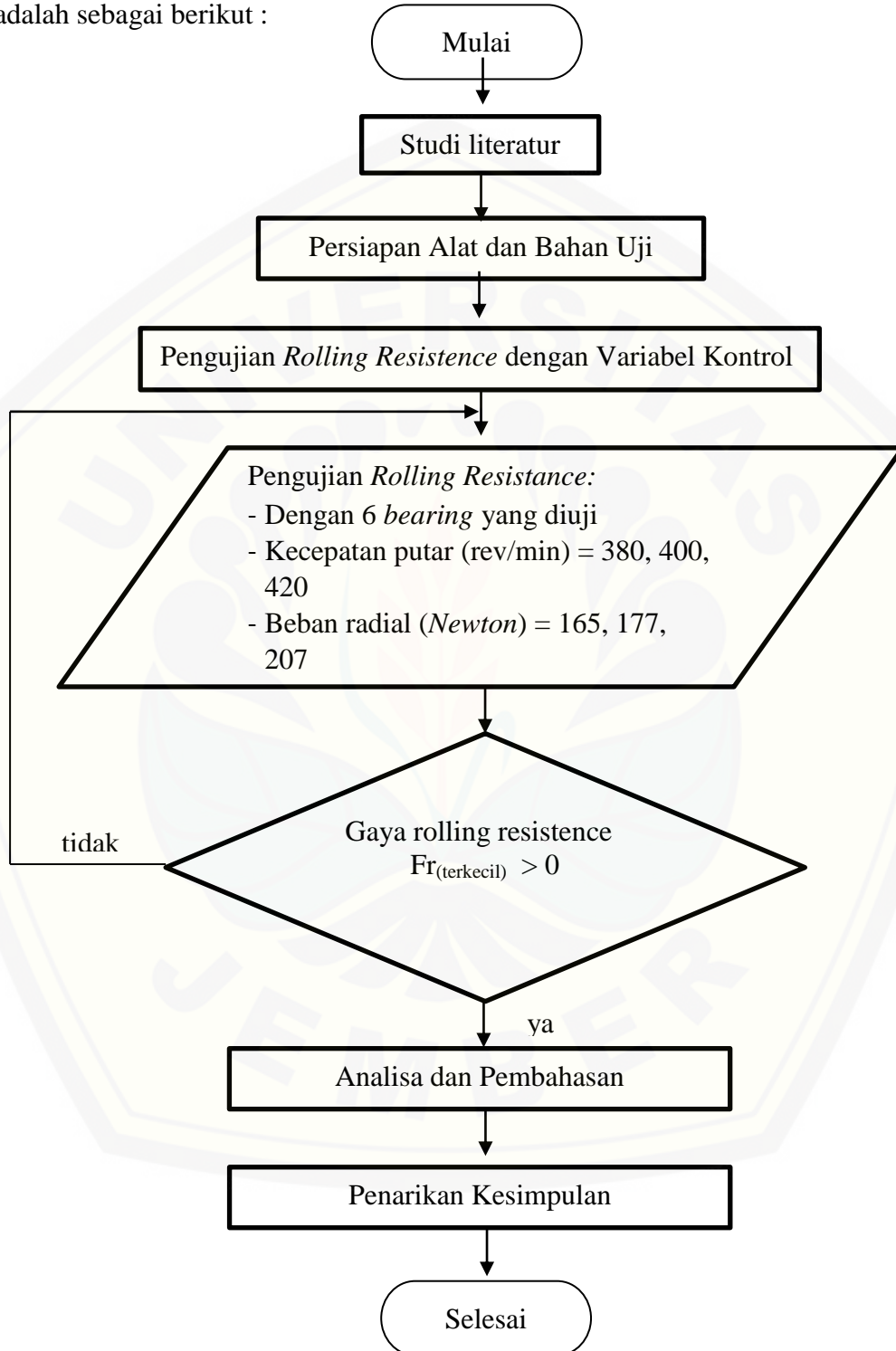
- h) Ulangi langkah-langkah b sampai g diatas pada variasi diameter *bearing* seri *number single row deep groove ball bearing* terhadap nilai dan koefisien *rolling resistance*.

3.5 Pengambilan Data Pengujian

Tahap ini merupakan tahapan terakhir dari proses penelitian. Pada tahap ini akan dilakukan analisis dan penafsiran dari hasil penelitian yang didapat. Dari hasil analisis dan penafsiran akan digunakan untuk menjawab permasalahan yang ada. Kemudian diberikan saran yang bersifat membangun untuk penelitian selanjutnya agar mendapat hasil yang lebih baik lagi dan sesuai dengan yang diinginkan.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir yang dilakukan dari awal sampai akhir penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Nilai koefisien *rolling resistance* (C_r) dan *rolling resistance* (F_r) dipengaruhi oleh *putaran bearing* (n) dalam interval putaran yaitu 380 – 420 rpm dan *beban bearing* (W) dalam interval beban *bearing* 165 – 207 newton.
2. Nilai *rolling resistance* (F_r) dipengaruhi oleh diameter *single row deep groove ball bearing*. Nilai *rolling resistance* (F_r) adalah sebagai berikut :
 - a) Nilai *rolling resistance* paling rendah terjadi pada bearing 6001 dengan *inner diameter* 12 mm dan *outer diameter* 28 mm serta pada *beban bearing* 177 newton dan *putaran bearing* 380 rpm , yaitu $F_{r \text{ rendah}} = 0,856 \text{ newton}$
 - b) Nilai *rolling resistance* paling tinggi terjadi pada bearing 6301 dengan *inner diameter* 12 mm dan *outer diameter* 37 mm pada *beban bearing* 177 newton dan *putaran bearing* 420 rpm , yaitu $F_{r \text{ tinggi}} = 2,55731 \text{ newton}$

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Perlu dikaji lebih lanjut tentang pengaruh jumlah *ball bearing*, getaran, material *bearing*, dan jenis pelumasan
2. Untuk pengujian *rolling resistance* selanjutnya diperlukan jenis beban *bearing* secara aksial maupun kombinasi
3. Perlu dikaji lebih lanjut pengujian *rolling resistance* terhadap *type bearing* yang berbeda

Daftar Pustaka

- Dewan Energi Nasional, 2015. *Outlook Energi Indonesia*. ISSN 2503-1597. Jakarta Selatan: Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Badan Pengelolalaan Lingkungan Hidup, 2013. *Zat – zat Pencemar Udara*. Jakarta: BPLH DKI Jakarta
- International Energy Agency, 2017. *Efisiensi Energi di Indonesia*. Paris: International Energy Agency.org.
- Juhala, M. 2014. *Improving Vehicle Rolling Resistance and Aerodynamics*. Aalto university, Finland : Woodhead Publishing Limited.
- Hutomo, A K. 2017. *Pengaruh Permukaan Alur Kembang (Tread Pattern) Ban Type Radial Ply Terhadap Rolling Resistance*. Skripsi. Universitas Jember.
- Kurniawan, S. 2017. *Analisis Karakteristik Produk Single Row Deep Groove Ball Bearing Pada Mobil Listrik Terhadap Rolling Resistance*. Skripsi. Universitas Jember.
- Sularso. 1997. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin / Sularso, Kiyokatsu Suga*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Hermawan, S. 2012. *Studi Karakteristik Hidrodinamika Pada Silinder Bearing Dengan Permukaan Slip Dan/Atau Permukaan Bertekstur*. Tugas Akhir. Universitas Diponegoro.
- Sutantra, I. N. dan Sampurno, B. 2010. *Teknologi Otomotif*. Surabaya: Penerbit Guna Widya.
- Gomez, J. L., A. Bourdon, H. Andre, dan D. Remond. 2016. *Modelling Deep Groove Ball Bearing Localized Defects Inducing Instantaneous Angular Speed Variations*. *Tribology International* S0301-679X(16)00117-1

Clark, S.K. dan Dodge, R.N. 1979. *A Handbook For The Rolling Resistance Of Pneumatic Tires*. Ann Arbor: Industrial Development Division, Institute Of Science And Technology University Of Michigan.

Jamadar, I. M, dan D.P. Vakharia. 2016. *An in Situ Synthesized Model for Detection of Defective Roller in Rolling Bearings*. International Journal. 19 (2016): 1488-1496.

Abrahamsen, A.B. 2001. *Superconducting bearings for flywheel Application*. Denmark: Forsknign Center Risoe. Risoe-R: No. 1265.



LAMPIRAN

Lampiran A. Data hasil penelitian

Tabel A.1. Data hasil perhitungan koefisien dan nilai *rolling resistance* pada beban 165 newton

Beban bearing (W)	Seri number bearing	Variasi putaran flyhweel (n)	Pengujian	Waktu (s)	Cr	Cr rata rata	Fr	Fr rata rata (N)
165	6000	380	1	903	0.010597054	0.010573669	1.713543553	1.70976228
			2	905	0.010573635		1.709756716	
			3	907	0.010550319		1.705986580	
	6000	400	1	955	0.010547412	0.010566102	1.705516482	1.70853877
			2	947	0.010636513		1.719924224	
			3	958	0.010514382		1.700175616	
	6000	420	1	1027	0.010298361	0.010335408	1.665245036	1.67123552
			2	1018	0.010389408		1.679967242	
			3	1025	0.010318456		1.668494295	
	6001	380	1	1156	0.006906068	0.006910068	1.116711166	1.11735797
			2	1153	0.006924037		1.119616746	
			3	1157	0.006900099		1.115745988	
400		1	1176	0.007145913	0.007147961	1.155494189	1.15582534	
		2	1178	0.007133781		1.153532400		
		3	1173	0.007164189		1.158449417		

		1	1219	0.007238535		1.170471062	
	420	2	1216	0.007256393	0.007240535	1.173358738	1.17079454
		3	1221	0.007226678		1.168553829	
		1	1373	0.006986065		1.129646674	
	380	2	1377	0.006965771	0.006970851	1.126365203	1.12718656
		3	1378	0.006960716		1.125547811	
6200		1	1396	0.007232595		1.169510544	
	400	2	1394	0.007242971	0.007232604	1.171188465	1.16951214
		3	1398	0.007222248		1.167837425	
		1	1403	0.007556334		1.221859270	
	420	2	1412	0.007508171	0.007529554	1.214071215	1.21752889
		3	1409	0.007524157		1.216656179	
		1	1178	0.006794318		1.098641263	
	380	2	1174	0.006817468	0.006805886	1.102384505	1.10051182
		3	1176	0.006805873		1.100509701	
		1	1200	0.007020796		1.135262639	
6201	400	2	1204	0.006997471	0.007016928	1.131491002	1.13463718
		3	1198	0.007032516		1.137157902	
		1	1236	0.007157122		1.157306574	
	420	2	1234	0.007168722	0.007149463	1.159182273	1.15606819
		3	1242	0.007122546		1.151715721	
		1	914	0.010530462		1.702775707	
6300	380	2	917	0.010496011	0.010526676	1.697205013	1.70216353
		3	912	0.043931445		1.706509865	

6301	400	1	945	0.010721072	0.010694858	1.733597323	1.72935855
		2	944	0.010732429		1.735433761	
		3	953	0.010631073		1.719044565	
	420	1	972	0.010944428	0.010952011	1.769713934	1.77094025
		2	968	0.010989652		1.777026801	
		3	974	0.010921954		1.766080024	
	380	1	577	0.013921798	0.013978617	2.251154726	2.26034243
		2	571	0.014068087		2.274809592	
		3	576	0.013945968		2.255062981	
	400	1	584	0.014478871	0.014405068	2.341233376	2.32929957
		2	588	0.014380375		2.325306618	
		3	589	0.014355960		2.321358729	
420	1	615	0.014436493	0.014499734	2.334380986	2.34460699	
	2	608	0.014602703		2.361257083		
	3	614	0.014460006		2.338182909		

Tabel A.2. Data hasil perhitungan koefisien dan nilai *rolling resistance* pada beban 177 newton

Beban bearing (W)	Seri number bearing	Variasi putaran flyhweel (n)	Pengujian	Waktu (s)	Cr	Cr rata rata	Fr	Fr rata rata (N)
6000	380		1	1478	0.00690138	0.006899911	1.197113018	1.19685854
			2	1472	0.00692951		1.201992555	
			3	1485	0.00686885		1.191470061	

		1	1493	0.00719162		1.247458695	
	400	2	1488	0.00721579	0.007198072	1.251650425	1.24857761
		3	1494	0.00718681		1.246623716	
		1	1510	0.00745139		1.295085181	
	420	2	1513	0.00743174	0.007449771	1.292517266	1.29223721
		3	1517	0.00744977		1.289109178	
		1	1725	0.00494441		0.855668506	
	380	2	1721	0.00492723	0.004934862	0.857657277	0.85600112
		3	1727	0.00493486		0.854677576	
177	6001	1	1738	0.00515373		0.893966552	
	400	2	1735	0.00516264	0.00516166	0.895512315	0.89534155
		3	1733	0.00516860		0.896545797	
		1	1752	0.00536818		0.931164132	
	420	2	1755	0.00535900	0.005366141	0.929572399	0.93081082
		3	1751	0.00537124		0.931695922	
		1	1544	0.00662109		1.148494413	
	380	2	1548	0.00660398	0.006616818	1.145526727	1.14775329
		3	1543	0.00662538		1.149238738	
		1	1573	0.00684108		1.186653310	
	6200	2	1570	0.00685415	0.006842539	1.188920800	1.18690685
		3	1575	0.00683239		1.185146448	
		1	1592	0.00709740		1.231115539	
	420	2	1588	0.00711528	0.007097433	1.234216586	1.23112072
		3	1596	0.00707962		1.228030037	

		1	1254	0.00680193		1.179862929	
	380	2	1257	0.00678570	0.006800142	1.177047027	1.17955255
		3	1252	0.00681280		1.181747694	
6201		1	1283	0.00699809		1.213888594	
	400	2	1284	0.00699264	0.006989023	1.212943198	1.21231587
		3	1287	0.00697634		1.210115825	
		1	1312	0.00718558		1.246410076	
	420	2	1316	0.00716374	0.007176472	1.242621596	1.24483082
		3	1313	0.00718010		1.245460792	
		1	1171	0.00875827		1.519210312	
	380	2	1174	0.00873589	0.008748323	1.515328174	1.51748418
		3	1172	0.00875080		1.517914058	
6300		1	1179	0.00915668		1.588317732	
	400	2	1177	0.00917224	0.009169653	1.591016658	1.59056798
		3	1176	0.00918004		1.592369563	
		1	1190	0.00952564		1.652317594	
	420	2	1196	0.00947785	0.009499074	1.644028375	1.64770939
		3	1194	0.00949373		1.646782191	
		1	607	0.01410015		2.445812236	
	380	2	604	0.01417019	0.014210242	2.457960310	2.46490854
		3	596	0.01436039		2.490953066	
6301		1	626	0.01439178		2.496398229	
	400	2	628	0.01434595	0.014438603	2.488447917	2.50452007
		3	618	0.01457808		2.528714064	

		1	640	0.01478081		2.563878994	
420		2	647	0.01462089	0.014742948	2.536139963	2.55731173
		3	638	0.01482714		2.571916232	

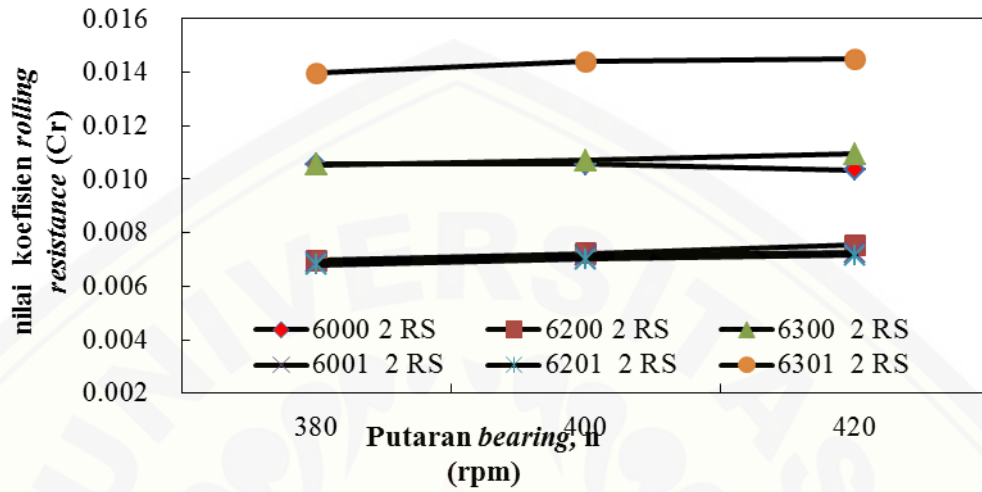
Tabel A.3. Data hasil perhitungan koefisien dan nilai *rolling resistance* pada beban 207 newton

Beban bearing (W)	Seri number bearing	Variasi putaran flyhweel (n)	Pengujian	Waktu (s)	Cr	Cr rata rata	Fr	Fr rata rata (N)
207	6000	380	1	2369	0.00533567	0.00533719	1.082394583	1.08270137
			2	2364	0.00534696		1.084683911	
			3	2372	0.00532892		1.081025618	
		400	1	2416	0.00550724	0.00550573	1.117197964	1.11689300
			2	2412	0.00551637		1.119050697	
			3	2422	0.00549359		1.114430339	
		420	1	2464	0.00566995	0.00567150	1.150206085	1.15052058
			2	2458	0.00568379		1.153013749	
			3	2468	0.00566076		1.148341894	
	6001	380	1	1362	0.00774056	0.00772735	1.570249448	1.56756974
			2	1368	0.00770661		1.563362389	
			3	1363	0.00773488		1.569097394	
		400	1	1397	0.00794382	0.00796858	1.611483064	1.61650632
			2	1392	0.00797235		1.617271437	
			3	1389	0.00798957		1.620764464	

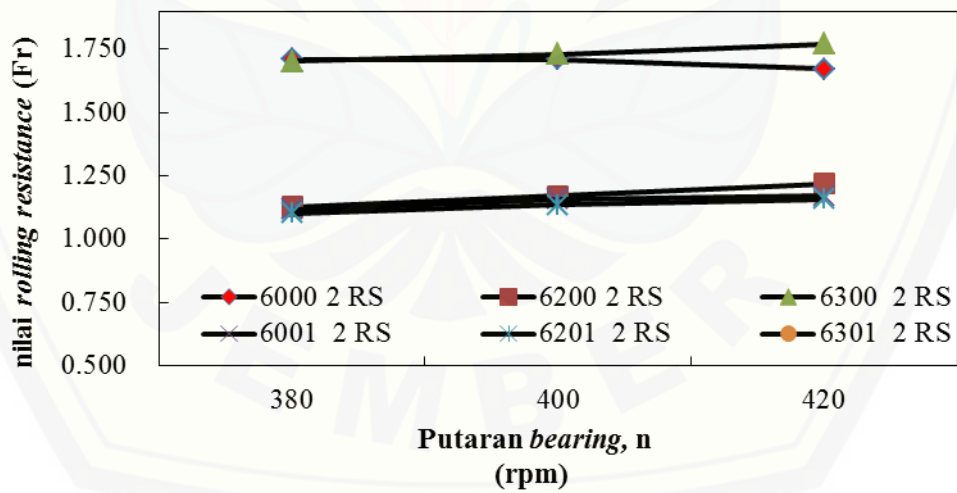
	420	1	1431	0.00814283	0.00814285	1.651854600	1.65185944	
		2	1434	0.00812580		1.648398837		
		3	1428	0.00815994		1.655324882		
	6200	380	1	2537	0.00499130	0.00499065	1.012535787	1.01240343
			2	2535	0.00499524		1.013334631	
			3	2540	0.00498541		1.011339878	
		400	1	2582	0.00516243	0.00516377	1.047251535	1.04752298
			2	2578	0.00517044		1.048876441	
			3	2584	0.00515844		1.046440969	
		420	1	2624	0.00533379	0.00533244	1.082013581	1.08173920
			2	2627	0.00532770		1.080777936	
			3	2623	0.00533583		1.082426091	
6201	380	1	1346	0.00784765	0.00784376	1.591973468	1.59118614	
		2	1346	0.00784765		1.591973468		
		3	1348	0.00783600		1.589611490		
	400	1	1381	0.00805132	0.00802425	1.633291122	1.62780031	
		2	1389	0.00800495		1.623884118		
		3	1387	0.00801649		1.626225696		
	420	1	1413	0.00826243	0.00824498	1.676117333	1.67257679	
		2	1421	0.00821592		1.666681064		
		3	1414	0.00825659		1.674931960		
6300	380	1	1794	0.00707687	0.00708743	1.435614642	1.43775605	
		2	1793	0.00708082		1.436415320		
		3	1787	0.00710460		1.441238203		

		400	1	1829	0.00730679	0.00730414	1.482255284	1.48171795
			2	1833	0.00729084		1.479020684	
			3	1827	0.00731479		1.483877895	
		420	1	1864	0.00752807	0.00751331	1.527144399	1.52415101
			2	1867	0.00751597		1.524690498	
			3	1872	0.00749590		1.520618141	
	6301	380	1	1384	0.00765325	0.00764959	1.552538883	1.55179642
			2	1382	0.00766433		1.554785683	
			3	1388	0.00763120		1.548064708	
		400	1	1416	0.00787400	0.00786107	1.597319220	1.59469689
			2	1422	0.00784077		1.590579476	
			3	1417	0.00786844		1.596191965	
		420	1	1448	0.00808499	0.00808131	1.640120315	1.63937404
			2	1453	0.00805716		1.634476405	
			3	1445	0.00810177		1.643525409	

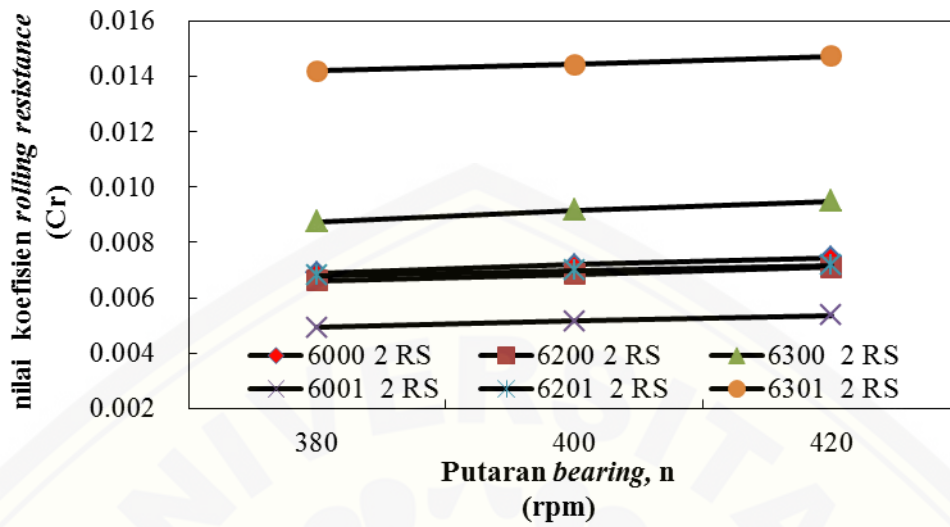
Lampiran B. Grafik Hasil Penelitian



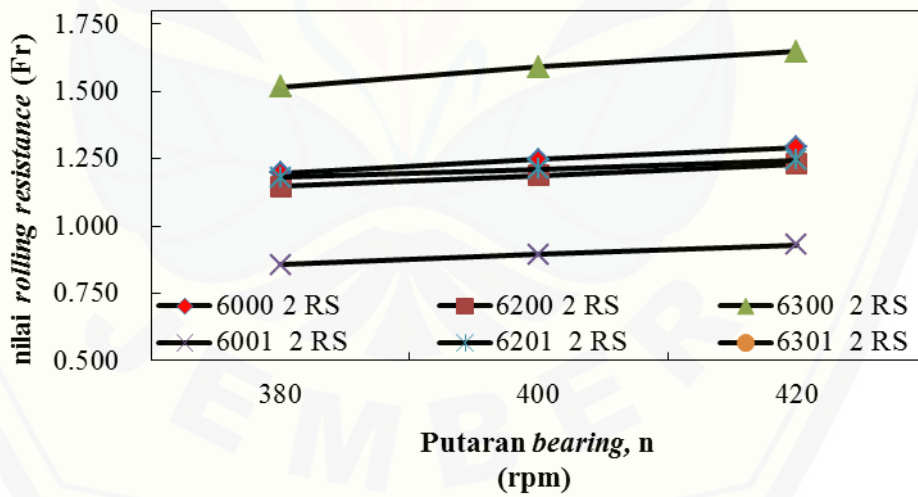
Gambar B.1 Hubungan antara beban bearing 165 N terhadap nilai koefisien rolling resistance



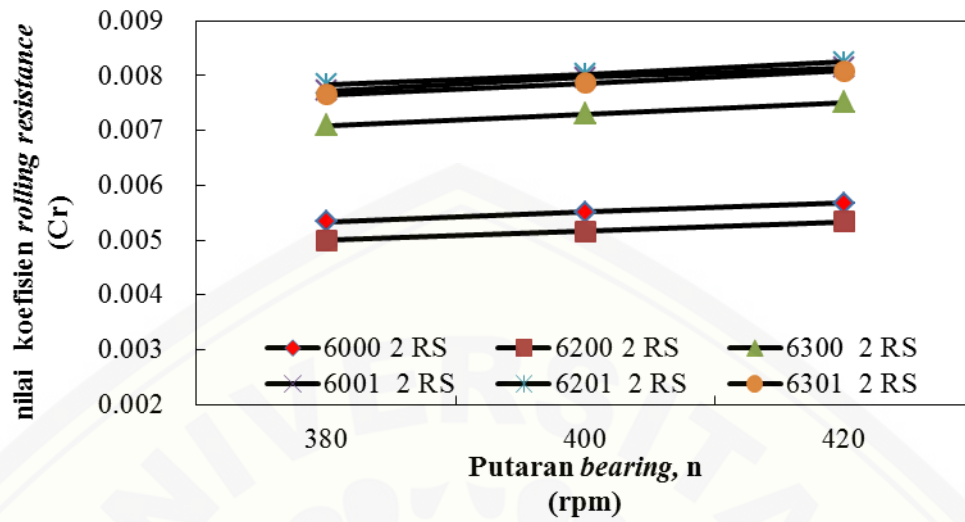
Gambar B.2 Hubungan antara beban bearing 165 N terhadap nilai rolling resistance



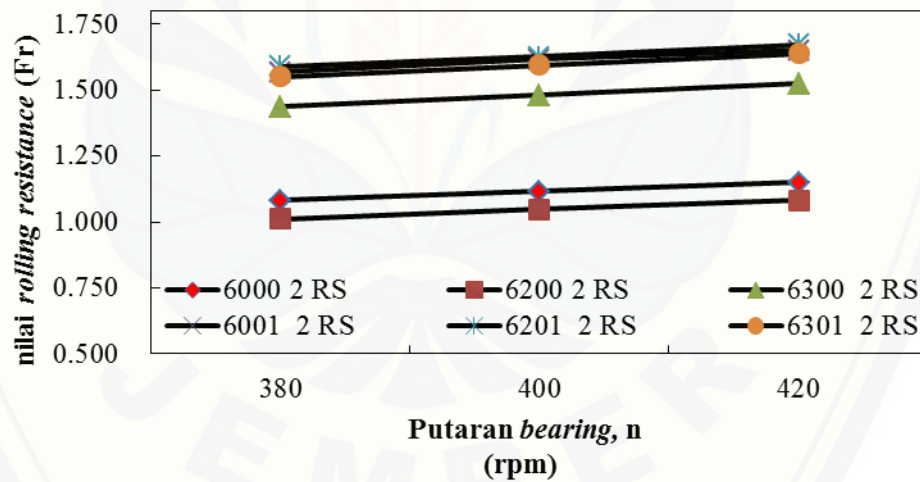
Gambar B.3 Hubungan antara beban bearing 177 N terhadap nilai koefisien rolling resistance



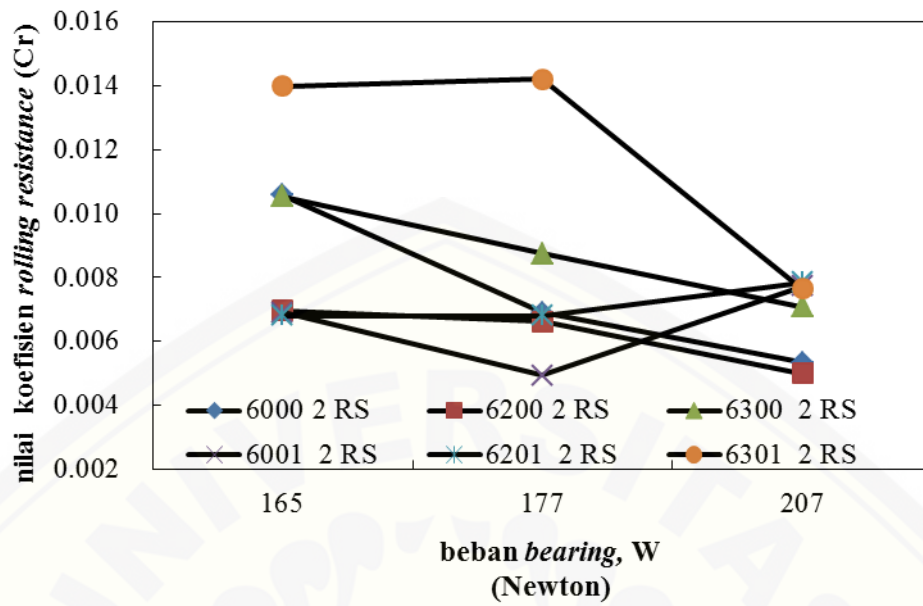
Gambar B.4 Hubungan antara beban bearing 177 N terhadap nilai rolling resistance



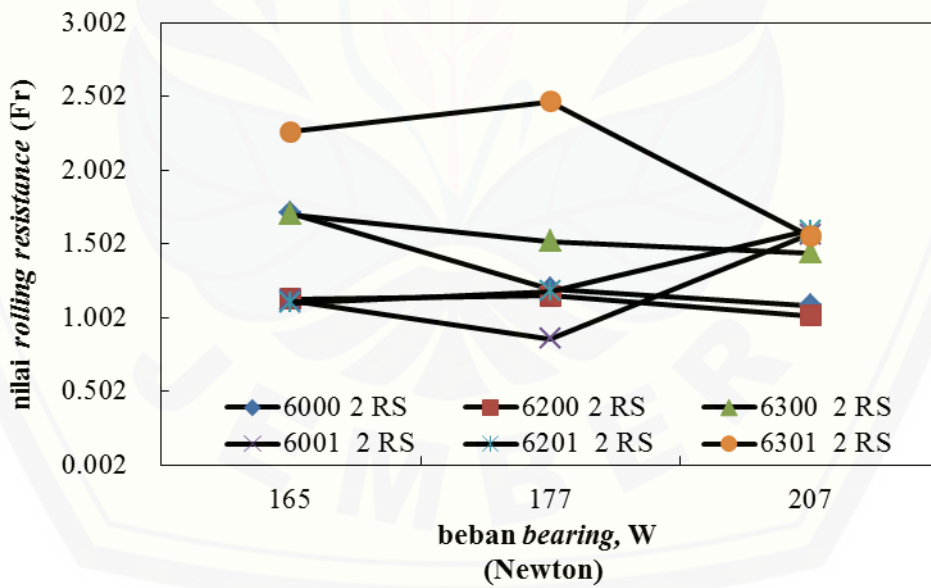
Gambar B.5 Hubungan antara beban bearing 207 N terhadap nilai koefisien rolling resistance



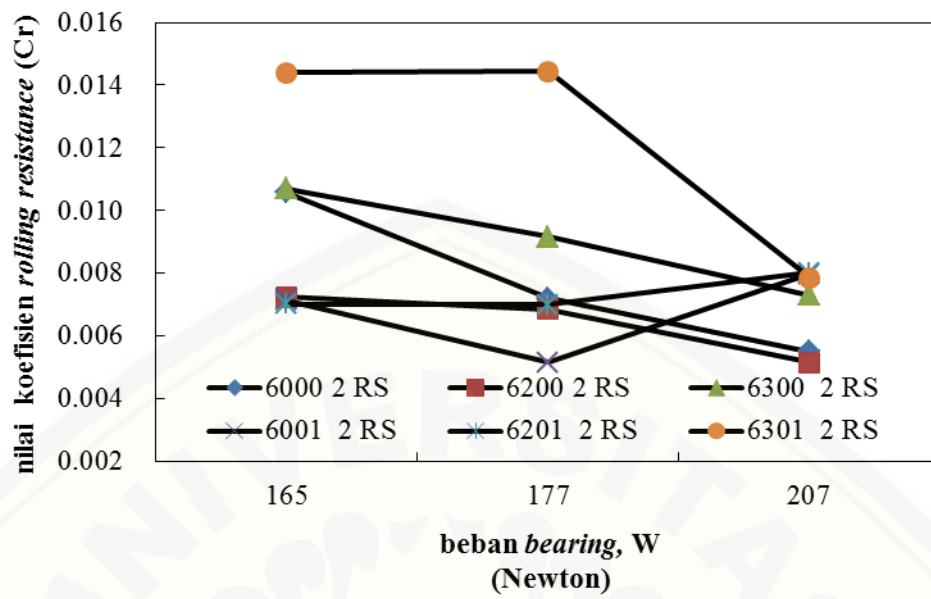
Gambar B.6 Hubungan antara beban bearing 207 N terhadap nilai rolling resistance



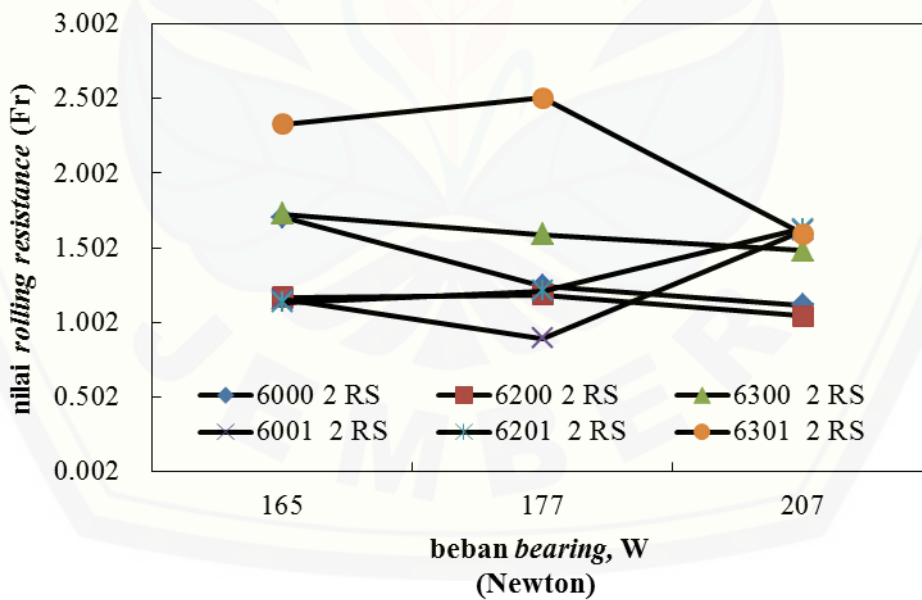
Gambar B.7 Hubungan antara putaran 380 rpm terhadap nilai koefisien *rolling resistance*



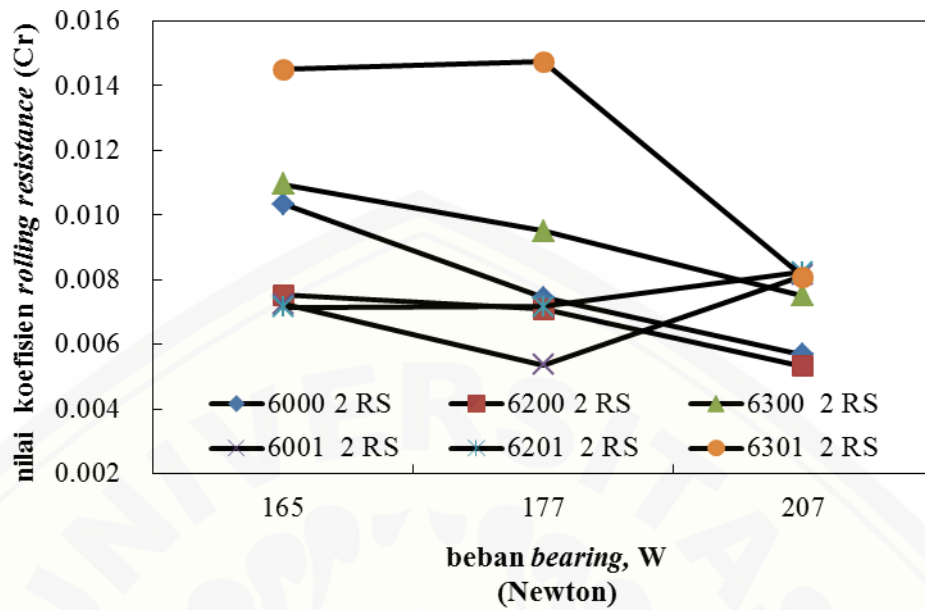
Gambar B.8 Hubungan antara putaran 380 rpm terhadap nilai *rolling resistance*



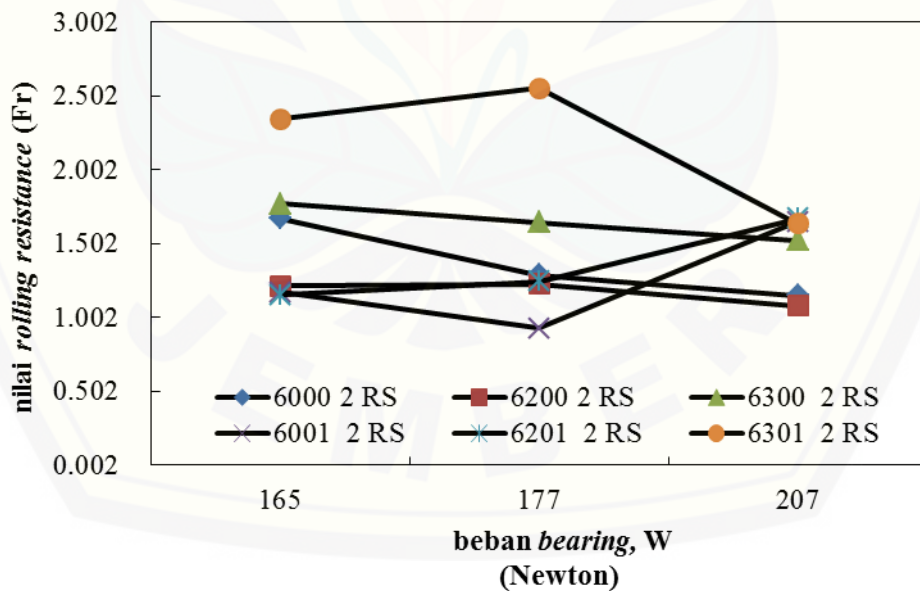
Gambar B.9 Hubungan antara putaran 400 rpm terhadap nilai koefisien *rolling resistance*



Gambar B.10 Hubungan antara putaran 400 rpm terhadap nilai *rolling resistance*

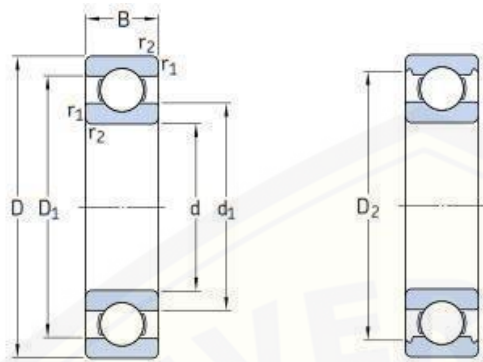


Gambar B.11 Hubungan antara putaran 420 rpm terhadap nilai koefisien *rolling resistance*

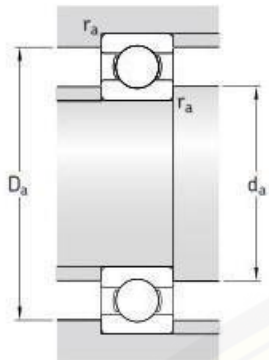


Gambar B.12 Hubungan antara putaran 420 rpm terhadap nilai *rolling resistance*

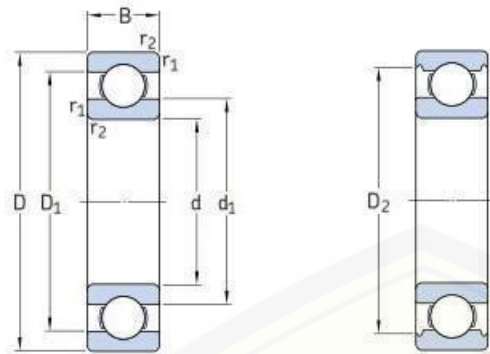
Lampiran C. Tabel Spesifikasi *Single Row Deep Groove Ball Bearing*



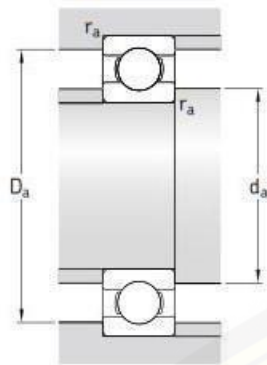
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	dynamic	static	P_u	Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min		kg	—
3	10	4	0,54	0,18	0,007	130 000	80 000	0,0015	623
4	9	2,5	0,423	0,116	0,005	140 000	85 000	0,0007	618/4
	11	4	0,624	0,18	0,008	130 000	80 000	0,0017	619/4
	12	4	0,806	0,28	0,012	120 000	75 000	0,0021	604
	13	5	0,936	0,29	0,012	110 000	67 000	0,0031	624
5	16	5	1,11	0,38	0,016	95 000	60 000	0,0054	634
	11	3	0,468	0,143	0,006	120 000	75 000	0,0012	618/5
	13	4	0,884	0,335	0,014	110 000	70 000	0,0025	619/5
	16	5	1,14	0,38	0,016	95 000	60 000	0,005	* 625
6	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0085	* 635
	13	3,5	0,715	0,224	0,01	110 000	67 000	0,002	618/6
	15	5	0,884	0,27	0,011	100 000	63 000	0,0039	619/6
7	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0081	* 626
	14	3,5	0,78	0,26	0,011	100 000	63 000	0,0022	618/7
	17	5	1,06	0,375	0,016	90 000	56 000	0,0049	619/7
	19	6	2,34	0,95	0,04	85 000	53 000	0,0076	* 607
8	22	7	3,45	1,37	0,057	70 000	45 000	0,012	* 627
	16	4	0,819	0,3	0,012	90 000	56 000	0,003	618/8
	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	53 000	0,0071	619/8
	22	7	3,45	1,37	0,057	75 000	48 000	0,012	* 608
9	24	8	3,9	1,66	0,071	63 000	40 000	0,018	* 628
	17	4	0,871	0,34	0,014	85 000	53 000	0,0034	618/9
	20	6	2,34	0,98	0,043	80 000	50 000	0,0076	619/9
	24	7	3,9	1,66	0,071	70 000	43 000	0,014	* 609
10	26	8	4,75	1,96	0,083	60 000	38 000	0,02	* 629
	19	5	1,72	0,83	0,036	80 000	48 000	0,0053	61800
	22	6	2,7	1,27	0,054	70 000	45 000	0,01	61900
	26	8	4,75	1,96	0,083	67 000	40 000	0,019	* 6000
	28	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,024	16100
	30	9	5,4	2,36	0,1	56 000	36 000	0,031	* 6200
35	11	8,52	3,4	0,143	50 000	32 000	0,053	* 6300	



Dimensions					Abutment and fillet dimensions			Calculation factors	
d	d_1	D_1	D_2	$r_{1,2}$ min.	d_a min.	D_a max.	r_a max.	k_f	f_0
mm					mm			-	
3	5,2	7,5	8,2	0,15	4,2	8,8	0,1	0,025	7,5
	6,1	9	9,9	0,15	4,6	8,4	0,1	0,015	6,5
4	6,1	9,9	-	0,2	5,4	10,6	0,2	0,025	10
	6,7	10,3	11,2	0,2	5,8	11,2	0,2	0,025	10
	8,4	12	13,3	0,3	6,4	13,6	0,3	0,03	8,4
	8,4	12	13,3	0,3	6,4	13,6	0,3	0,03	8,4
5	6,8	9,2	-	0,15	5,8	10,2	0,1	0,015	7,1
	7,5	10,5	11,2	0,2	6,4	11,6	0,2	0,02	11
	8,4	12	13,3	0,3	7,4	13,6	0,3	0,025	8,4
	11,1	15,2	16,5	0,3	7,4	16,6	0,3	0,03	13
6	8	11	-	0,15	6,8	12,2	0,1	0,015	7
	8,2	11,7	13	0,2	7,4	13,6	0,2	0,02	6,8
	11,1	15,2	16,5	0,3	8,4	16,6	0,3	0,025	13
7	9	12	-	0,15	7,8	13,2	0,1	0,015	7,2
	10,4	13,6	14,3	0,3	9	15	0,3	0,02	7,3
	11,1	15,2	16,5	0,3	9	17	0,3	0,025	13
	12,1	17,6	19,2	0,3	9,4	19,6	0,3	0,025	12
8	10,5	13,5	-	0,2	9,4	14,6	0,2	0,015	7,5
	10,5	15,5	16,7	0,3	10	17	0,3	0,02	6,6
	12,1	17,6	19,2	0,3	10	20	0,3	0,025	12
	14,4	19,8	21,2	0,3	10,4	21,6	0,3	0,025	13
9	11,5	14,5	-	0,2	10,4	15,6	0,2	0,015	7,7
	11,6	16,2	17,5	0,3	11	18	0,3	0,02	12
	14,4	19,8	21,2	0,3	11	22	0,3	0,025	13
	14,8	21,2	22,6	0,3	11,4	23,6	0,3	0,025	12
10	12,7	16,3	-	0,3	12	17	0,3	0,015	15
	13,9	18,2	-	0,3	12	20	0,3	0,02	14
	14,8	21,2	22,6	0,3	12	24	0,3	0,025	12
	17	23,2	24,8	0,3	14,2	23,8	0,3	0,025	13
	17	23,2	24,8	0,6	14,2	25,8	0,6	0,025	13
	17,5	26,9	28,7	0,6	14,2	30,8	0,6	0,03	11



Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	dynamic	static		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min	kg	-	
12	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	* 6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* 6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	* 6301
15	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38 000	0,0065	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* 6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* 6302
17	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 6003
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	* 6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	6203 ETN9
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,11	* 6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	6403
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	* 16004
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	* 6004
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
22	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404
	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19 000	0,13	62/22
	56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18 000	0,18	63/22



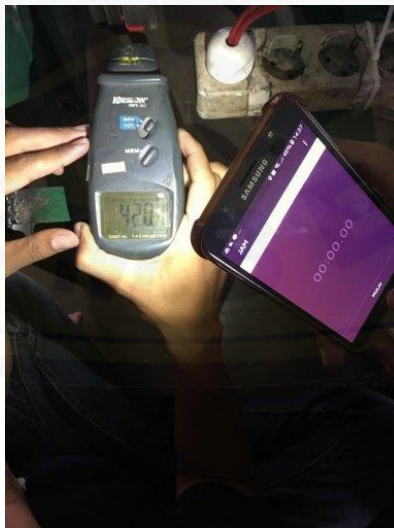
Dimensions					Abutment and fillet dimensions			Calculation factors	
d	d ₁	D ₁	D ₂	r _{1,2} min.	d _a min.	D _a max.	r _a max.	k _r	f ₀
mm	-	-	-	-	mm	-	-	-	-
12	14,8	18,3	-	0,3	14	19	0,3	0,015	13
	16	20,3	-	0,3	14	22	0,3	0,02	15
	17	23,2	24,8	0,3	14	26	0,3	0,025	13
	17	23,4	24,8	0,3	14,4	27,6	0,3	0,025	13
	18,4	25,7	27,4	0,6	16,2	27,8	0,6	0,025	12
	19,5	29,5	31,5	1	17,6	31,4	1	0,03	11
15	17,8	21,3	-	0,3	17	22	0,3	0,015	14
	18,8	24,2	25,3	0,3	17	26	0,3	0,02	14
	20,5	26,7	28,2	0,3	17	30	0,3	0,02	14
	20,5	26,7	28,2	0,3	17	30	0,3	0,025	14
	21,7	29	30,4	0,6	19,2	30,8	0,6	0,025	13
	23,7	33,7	36,3	1	20,6	36,4	1	0,03	12
17	19,8	23,3	-	0,3	19	24	0,3	0,015	14
	20,4	26,6	27,7	0,3	19	28	0,3	0,02	15
	23	29,2	31,2	0,3	19	33	0,3	0,02	14
	23	29,2	31,2	0,3	19	33	0,3	0,025	14
	24,5	32,7	35	0,6	21,2	35,8	0,6	0,025	13
	24,5	32,7	-	0,6	21,2	35,8	0,6	0,03	12
20	26,5	37,4	39,6	1	22,6	41,4	1	0,03	12
	32,4	46,6	48,7	1,1	23,5	55,5	1	0,035	11
	23,8	28,3	-	0,3	22	30	0,3	0,015	15
	25,5	31,4	32,7	0,3	22	35	0,3	0,02	15
	27,3	34,6	-	0,3	22	40	0,3	0,02	15
	27,2	34,8	37,2	0,6	23,2	38,8	0,6	0,025	14
22	28,8	38,5	40,6	1	25,6	41,4	1	0,025	13
	28,2	39,6	-	1	25,6	41,4	1	0,025	12
	30,3	41,6	44,8	1,1	27	45	1	0,03	12
	30,3	42,6	-	1,1	27	45	1	0,03	12
	37,1	54,8	-	1,1	29	63	1	0,035	11
	32,2	41,8	44	1	27,6	44,4	1	0,025	14
32,9	45,3	-	1,1	29	47	1	0,03	12	

Lampiran D. Dokumentasi Penelitian

Gambar D.1 Proses *assembly* alat uji *rolling resistance* untuk bearing



Gambar D.2 Alat uji *rolling resistance* untuk bearing



Gambar D.3 Pengujian dan pengambilan data



Gambar D.4 Rangkaian dimmer



Gambar D.5 Spesifikasi motor listrik



Gambar D.6 Tachometer

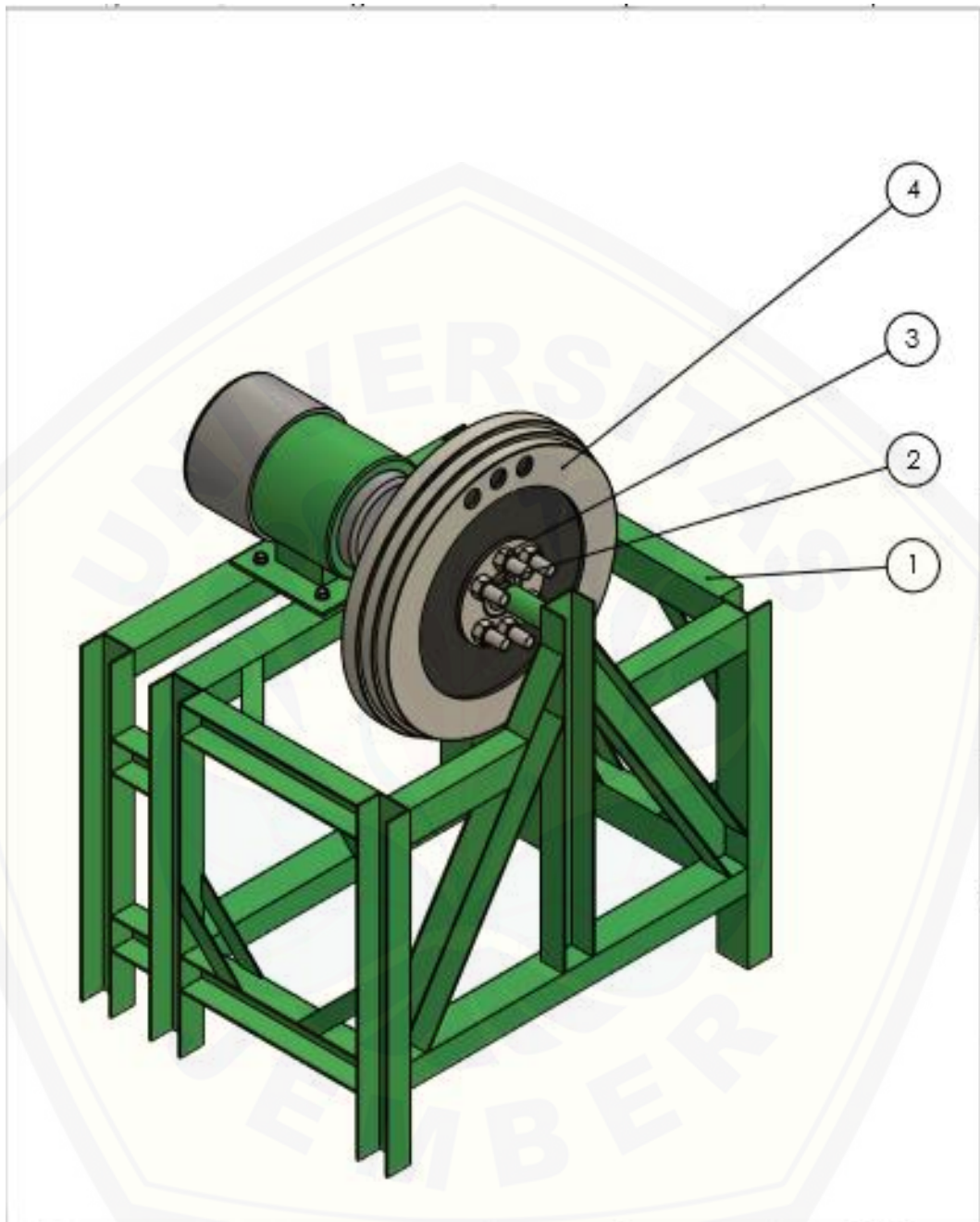


Gambar D.7 Flywheel

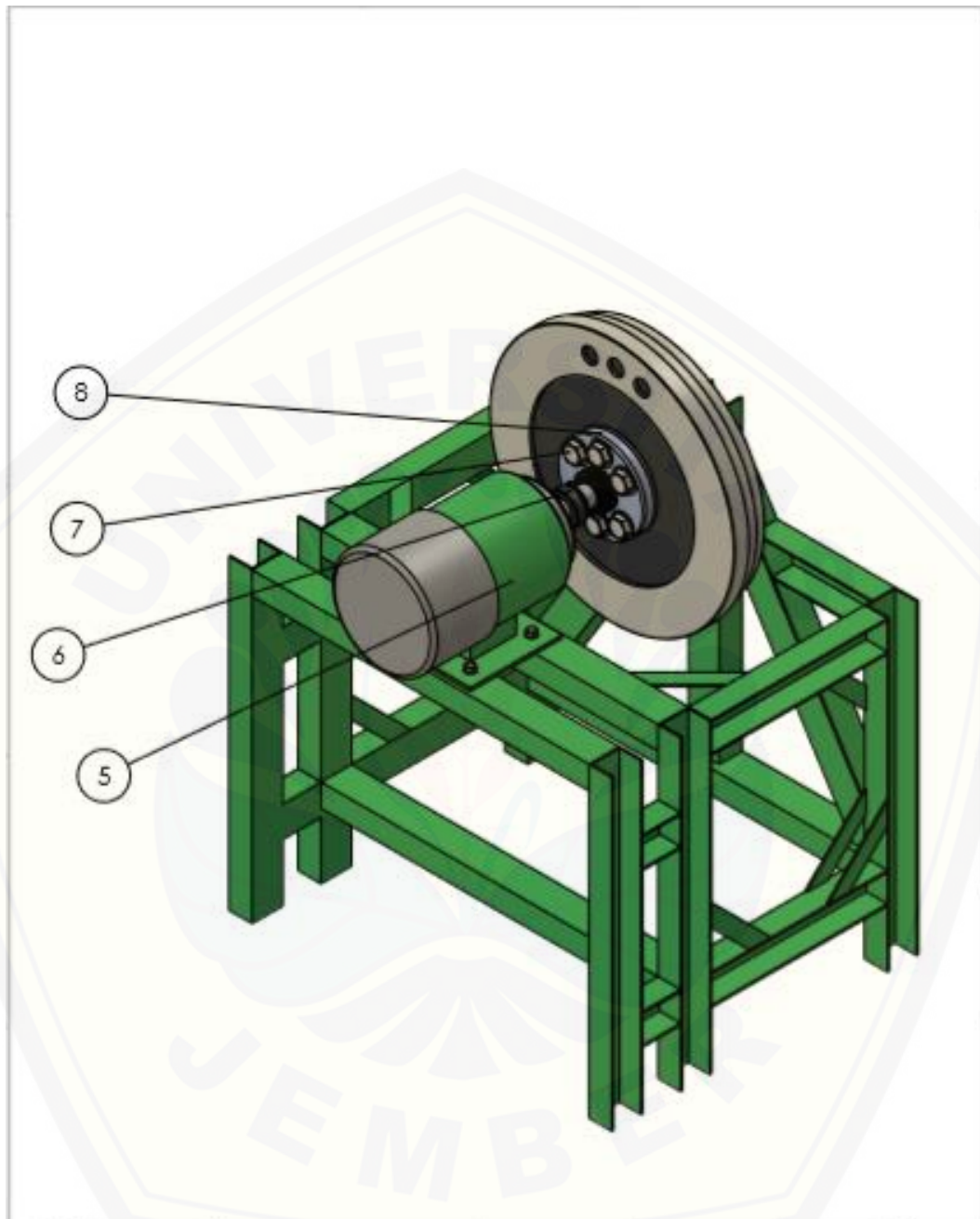


Gambar D.8 Single row deep groove ball bearing

Lampiran E. Desain Alat Uji *Rolling Resistance*



4	Flywheel	1	Baja Heavy	
3	Mur M14	1	Steell	
2	Bearing	1	Steel	
1	Rangka	1	ST - 37	
No.	Nama Bagian	Jumlah	Bahan	
	Skala : 1 : 5	Digambar : Muhammad Ihsan P	Peringatan :	
	Satuan : mm	NIM : 141910101001		
	Tanggal : 19/05/18	Dilihat : Lab. Desain		
Teknik Mesin Universitas Jember		Gambar Mesin Uji Rolling Resistance	No.	A4



8	Flens	2	Steel	
7	Baut M14	6	Steel	
6	Kopling	1	Steel	
5	Motor Listrik	1	-	
No.	Nama Bagian	Jumlah	Bahan	
	Skala : 1 : 5	Digambar : Muhammad Ihsan P	Peringatan :	
	Satuan : mm	NIM : 141910101001		
	Tanggal : 19/05/18	Dilihat : Lab. Desain		
Teknik Mesin Universitas Jember		Gambar Mesin Uji Rolling Resistance	No.	A4

