



**ANALISIS KARAKTERISTIK PRODUK *SINGLE ROW DEEP  
GROOVE BALL BEARING* PADA MOBIL LISTRIK  
TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

**SKRIPSI**

Oleh

**Singgih Kurniawan**

**NIM 131910101017**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2017**



**ANALISIS KARAKTERISTIK PRODUK *SINGLE ROW DEEP  
GROOVE BALL BEARING* PADA MOBIL LISTRIK  
TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Mesin  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Singgih Kurniawan**

**NIM 131910101017**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2017**

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT limpahan kasih dan karunia-Mu telah memberikan kekuatan dan kemudahan sehingga skripsi ini bisa terselesaikan. Sholawat dan salam selalu dipanjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. Dengan tulus ikhlas dan penuh kerendahan hati skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ibunda Suratmi dan Ayahanda Sugiyono yang tercinta, terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis.
2. Seluruh anggota keluarga, saudara yang selalu mendoakan hingga terselesaikan tugas akhir ini.
3. Guru-guruku mulai dari TK, SD, SMP, SMK, dan Dosen Perguruan Tinggi atas semua ilmu yang telah diberikan.
4. Almamaterku Universitas Jember yang aku cintai dan banggakan.
5. Keluarga Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember yang telah memberikan motivasi dan dukungan.
6. Keluarga Preng Ketekok Indie yang menjadi teman seperjuangan selama kuliah 4 tahun di Universitas Jember.
7. Keluarga Paguyupan IKAPEMMA Madiun yang telah memberi motivasi, dukungan dan doa'nya.
8. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin terutama angkatan 2013 yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan doa'nya. "Solidarity Forever"
9. Teman seperjuangan yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dalam segala hal.
10. Kemenristek Dikti melalui program beasiswa Bidikmisi yang telah membiayai perkuliahan selama 4 tahun di Universitas Jember.

**MOTO**

Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan  
(Q.S. Al-Insyiroh ayat 5)

“Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah”  
(B.J. Habibi)

“Jika ilmu dan ide itu didasarkan pada niat baik, niscaya akan ada kekuatan yang sangat besar (Tuhan) yang akan selalu membantu dan menuntunmu, karena sebaik-baiknya manusia adalah manusia yang bermanfaat untuk manusia lain”  
(Arfian Fuadi)

“Pikiran dan perasaan menentukan segalanya, dan orang yang mampu menjaga pikiran dan perasaannya akan mendapatkan fitrah hidupnya yaitu kebahagiaan.”  
(Erbe Sentanu)

“Keberuntungan akan berpihak kepada mereka yang terus-menerus mencoba, terus-menerus belajar, dan terus-menerus berbagi”  
(Ippho Santosa)

*“Try not to become a man of success, but rather try to become a man of value”*  
(Albert Einstein)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Singgih Kurniawan

NIM : 131910101017

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Karakteristik Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* pada Mobil Listrik Terhadap *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 di junjung tinggi.

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

Jember, 26 September 2017  
Yang Menyatakan,

Singgih Kurniawan  
NIM 131910101017

**SKRIPSI**

**ANALISIS KARAKTERISTIK PRODUK *SINGLE ROW DEEP  
GROOVE BALL BEARING* PADA MOBIL LISTRIK  
TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

Oleh

Singgih Kurniawan

NIM 131910101017

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. FX. Kristianta, M.Eng.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Analisis Karakteristik Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* pada Mobil Listrik Terhadap *Rolling Resistance*” karya Singgih Kurniawan telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Selasa, 26 September 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Tim Penguji**

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T.  
NIP 19800307 201212 1 003

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.  
NIP 19650120 200112 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.  
NIP 19691201 199602 1 001

Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T.  
NIP 19751006 200212 1 002

Mengesahkan  
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M  
NIP 19661215 199503 2 001

## RINGKASAN

### **ANALISIS KARAKTERISTIK PRODUK *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING* PADA MOBIL LISTRIK TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

Singgih Kurniawan, 131910101017; 2017; 69 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Semakin meningkatnya polusi udara memunculkan inovasi untuk mengembangkan penggunaan energi listrik dalam sistem transportasi sebagai solusi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Dalam mobil listrik, aspek efisiensi terus dikembangkan agar diperoleh *losses* atau kehilangan energi yang kecil saat mobil berjalan. *Rolling Resistance* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi pada kendaraan. *Rolling Resistance* pada kendaraan dipengaruhi oleh banyak hal, selain pengaruh kontak ban dengan jalan, *bearing* pada poros roda juga dapat mempengaruhi nilai *rolling resistance* kendaraan.

Bantalan (*bearing*) adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk menopang poros dalam kondisi berputar dan mempunyai beban. Gesekan yang terjadi pada elemen *bearing* dapat mempengaruhi *rolling resistance* pada kendaraan. Suatu produk bantalan (*bearing*) memiliki spesifikasi yang menggambarkan performa atau kualitas dari produk tersebut. Spesifikasi bantalan yang sering ditampilkan oleh pabrikan adalah tipe, suaian, dimensi, material, *sealing*, dan *cage*. Belum dijumpai informasi nilai *rolling resistance* dari suatu produk bantalan.

Penelitian ini berupa pengujian kualitas produk bantalan yang diasumsikan sesuai dengan kondisi aktual dan karakteristik mobil. Hasil yang diperoleh dari pengujian adalah informasi nilai *rolling resistance* pada bantalan. Sehingga nantinya diperoleh informasi tipe bantalan yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil. Metode *ANOVA* digunakan untuk menganalisis karakteristik produk bantalan ketika diberi variasi kecepatan putar, beban radial, dan beban aksial. Produk bantalan yang analisis ada tiga tipe yaitu : 6002, 6202, dan 6302.



Dari hasil penelitian bahwa parameter kecepatan putar, beban radial, dan beban aksial semuanya mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap *rolling resistance* bantalan. Kemudian hasil analisis dari tiga tipe bantalan menunjukkan parameter beban radial mempunyai pengaruh paling besar terhadap *rolling resistance* bantalan. Bantalan tipe 6002 memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil sebesar 0,2323 N pada kombinasi parameter kecepatan putar 325 rpm, beban radial 150 N, dan beban aksial 150 N. Sedangkan nilai *rolling resistance* tertinggi terdapat pada bantalan tipe 6302 senilai 0,7001 N dengan kombinasi parameter kecepatan putar 325 rpm, beban radial 250 N, dan beban aksial 250 N. Hasil pengujian *rolling resistance* pada bantalan 6002 menjadi paling kecil dikarenakan nilai momen inersia yang dimiliki juga paling kecil.

**SUMMARY**

***ANALYSIS OF THE CHARACTERISTIC PRODUCTS SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING ON ELECTRIC CAR AGAINST THE ROLLING RESISTANCE***

*Singgih Kurniawan, 131910101017; 2017; 69 pages; Departmen of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.*

*The increasing air pollution gave rise to innovation for developing the use of electrical energy in the transport system as an alternative solution replacement for fossil fuels. In electric cars, efficiency aspects continue to be developed so that the acquired losses or loss of small energy while the car is running. Rolling Resistance is one of the factors that affect the efficiency of the vehicle. Rolling Resistance on the vehicle is affected by many things, in addition to the influence of tire contact with the road, bearing on axle can also affect the value of rolling resistance of the vehicle.*

*Bearing is an element of the machine that serves to prop up the shaft rotates and has a burden. The friction that occurred on bearing elements can affect the rolling resistance on the vehicle. A product bearing have specifications that describe the performance or quality of the product. Specification bearings that are often displayed by the manufacturer is fits, type, dimensions, materials, sealing, and cage. Haven't found the information value of rolling resistance of a product bearing.*

*This research in the form of testing the quality of products bearing the assumed in accordance with the actual conditions and characteristics of the car. The results obtained from testing is the information value of rolling resistance on the bearing. So that later acquired information bearing type that has a value of rolling resistance is very small. ANOVA method used to analyze the characteristics of the products bearing when given the variation of speed radial load, play, and axial load. Products bearing the analysis there are three types namely : 6002, 6202, and 6302.*

*From the results of research that the parameters of radial load radial speed, axial loads and all have significant influence towards rolling resistance bearings. Then the results of the analysis of three types of bearing radial load parameter shows the influence of the rolling resistance against the bearing. Bearing 6002 type has the value of rolling resistance of most small 0.2323 N on a combination of parameter speed dial 325 rpm, radial load of 150 N and axial load of 150 N. While the value of rolling resistance is found in the highest bearing type 6302 worth 0.7001 N with a combination of parameter speed dial 325 rpm, radial load of 250 N, and axial load of 250 N. Rolling resistance test results on the bearing 6002 becomes small because most values of moment of inertia which is owned also the smallest.*

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian sekaligus penyusunan skripsi yang berjudul "Analisis Karakteristik Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* pada Mobil Listrik Terhadap *Rolling Resistance*". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam penyelesaian pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya banyak pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Fahrur Rozy H., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan arahan demi terselesaikannya skripsi ini;
4. Bapak Dedi Dwilaksana, S.T., M.T. selaku dosen penguji I dan Bapak Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku dosen penguji II yang telah memberikan saran dan kritikan yang membangun untuk penyusunan skripsi ini;
5. Bapak Muh. Nurkoyim, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember yang telah menuntun saya, selalu mendampingi dalam menyelesaikan setiap kendala serta memberikan banyak ilmu yang sangat berharga kepada saya;
6. Kedua orang tua saya, Ibunda Suratmi dan Ayahanda Sugiyono terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat, dan air mata yang menetes dalam setiap untaian doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan sehingga saya bisa menyelesaikan studi S1;

7. Adik perempuan saya Hening Putri Cahyanti yang selalu menghadirkan keceriaan dalam keluarga;
8. Keluarga Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember sebagai wadah saya dalam mencari wawasan tentang dunia *engineering*, serta keluarga dalam mengemban tugas bersama untuk mengharumkan almamater tercinta.
9. Keluarga Paguyupan IKAPEMMA Madiun yang selalu guyup rukun dan memberikan arti kekeluargaan kepada saya selama kuliah 4 tahun di jember.
10. Keluarga Kontrakan “Gang Kadal” : Jimi, Akbar, Dirga yang selalu menghibur dan menemani saat suka dan duka;
11. Keluarga “Preng Ketekok Indie” yang sudah memberikan doa, dukungan, serta motivasi kepada penulis;
12. Partner saya Achmad Fitoyo dan rekan-rekan satu penelitian di mobil listrik Silvia Gilang Sahara, Sofyan Ahmadi, Bayu Setia Pambudi, Risky Suryadi, Aditya Krisna Hutomo, Lazuardi Ramadhan, Ilham Habibi, Winagil Catur, Achmad Rizal Fatoni yang telah bahu-membahu dalam mengerjakan alat penelitian.
13. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin terutama angkatan 2013 yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan doa’nya;
14. Keluarga Kelompok KKN 142 Desa Karangpaiton Atsaniah Nurul Kamilah, Nena Ayu Sutono, Kholifatu Rizki Amalia, Qori’ Bahtiar, Shanti, Siti Alif Ulfah, Sarah Kinan Andalusia, Restu Fisha Alam, dan Endah Widayanti.
15. Teman seperjuangan dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dalam segala hal.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena sempurna hanya milik Allah SWT. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 26 September 2017

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN SAMPUL</b>	
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xx
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....	4
1.4.1 Tujuan Penelitian .....	4
1.4.2 Manfaat Penelitian .....	5
<b>1.5 Hipotesis</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
<b>2.1 Bantalan (<i>Bearing</i>)</b> .....	6
2.1.1 Fungsi Bantalan .....	6
2.1.2 Klasifikasi Bantalan .....	7
2.1.3 <i>Single Row Deep Groove Ball Bearings</i> .....	12
2.1.4 Kode Spesifikasi Bantalan .....	12

<b>2.2 Beban pada Bantalan</b> .....	15
2.2.1 Beban radial bantalan ( <i>radial loads</i> ) .....	15
2.2.2 Beban aksial bantalan ( <i>axial loads</i> ) .....	16
<b>2.3 Rolling Resistance pada Bantalan</b> .....	18
2.3.1 Pemodelan <i>Rolling Resistance</i> pada Bantalan .....	18
<b>2.4 Momen Inersia pada Bantalan</b> .....	20
<b>2.5 Standart Pengujian pada Bantalan</b> .....	21
<b>2.6 Pengujian <i>Rolling Resistance</i> pada Bantalan</b> .....	23
2.6.1 Pengujian Standar ISO 18164: 2005.....	23
2.6.2 Metode Pengujian <i>Rolling Resistance</i> pada Bantalan.....	24
2.6.3 Parameter Peralatan Uji .....	25
2.6.4 Perhitungan Rugi-rugi Alat.....	25
2.6.5 Perhitungan Gaya <i>Rolling Resistance</i> .....	25
<b>2.7 Analisis Varian (<i>Analysis of Variant/ANOVA</i>)</b> .....	26
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
<b>3.1 Waktu dan Tempat Penelitian</b> .....	30
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	30
3.2.1 Alat.....	30
3.2.2 Bahan .....	34
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	34
<b>3.4 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data</b> .....	35
<b>3.5 Penarikan Kesimpulan</b> .....	39
<b>3.6 Diagram Alir Penelitian</b> .....	40
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
<b>4.1 Data Pengujian Produk Bantalan (<i>Bearing</i>)</b> .....	41
<b>4.2 Produk Bantalan 6002</b> .....	41
4.2.1 Analisa Spesifikasi Produk Bantalan 6002 .....	41
4.2.2 Perhitungan S/N Ratio .....	44
4.2.3 Perhitungan <i>ANOVA</i> .....	46

4.2.4 Menghitung Persen Kontribusi .....	47
4.2.5 Pengujian Hipotesis Berdasarkan Uji F .....	48
<b>4.3 Produk Bantalan 6202 .....</b>	<b>49</b>
4.3.1 Analisa Spesifikasi Produk Bantalan 6202 .....	49
4.3.2 Perhitungan S/N Ratio .....	51
4.3.3 Perhitungan ANOVA .....	53
4.3.4 Menghitung Persen Kontribusi .....	54
4.3.5 Pengujian Hipotesis Berdasarkan Uji F .....	55
<b>4.4 Produk Bantalan 6302 .....</b>	<b>56</b>
4.4.1 Analisa Spesifikasi Produk Bantalan 6302 .....	56
4.4.2 Perhitungan S/N Ratio .....	58
4.4.3 Perhitungan ANOVA .....	60
4.4.4 Menghitung Persen Kontribusi .....	61
4.4.5 Pengujian Hipotesis Berdasarkan Uji F .....	62
<b>4.5 Pengaruh parameter pengujian terhadap produk bantalan .....</b>	<b>63</b>
<b>4.6 Analisis persen kontribusi parameter uji .....</b>	<b>64</b>
<b>4.7 Hasil nilai <i>rolling resistance</i> pada ketiga tipe bantalan .....</b>	<b>66</b>
<b>BAB 5. PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	68
5.2 Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>72</b>



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Tabel <i>ANOVA</i> dua arah .....	28
Tabel 3.1 Level yang digunakan .....	35
Tabel 3.2 Pengambilan data dengan desain faktorial 3x3x3 .....	38
Tabel 4.1 Spesifikasi produk bantalan 6002 .....	42
Tabel 4.2 Data hasil perhitungan S/N ratio (Bantalan 6002) .....	45
Tabel 4.3 Hasil analisis varian untuk bantalan 6002.....	48
Tabel 4.4 Spesifikasi produk bantalan 6202 .....	49
Tabel 4.5 Data hasil perhitungan S/N ratio (Bantalan 6202) .....	52
Tabel 4.6 Hasil analisis varian untuk bantalan 6202.....	55
Tabel 4.7 Spesifikasi produk bantalan 6302 .....	56
Tabel 4.8 Data hasil perhitungan S/N ratio (Bantalan 6302) .....	59
Tabel 4.9 Hasil analisis varian untuk bantalan 6302.....	62
Tabel 4.10 Ringkasan hasil uji hipotesis parameter.....	63

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 <i>Radial bearing</i> .....	7
Gambar 2.2 <i>Thrust ball bearing</i> .....	8
Gambar 2.3 <i>Combined bearings</i> .....	9
Gambar 2.4 <i>Sliding bearing and rolling bearing</i> .....	9
Gambar 2.5 Macam-macam bantalan luncur .....	10
Gambar 2.6 Klasifikasi <i>rolling bearings</i> .....	11
Gambar 2.7 <i>Single row deep groove ball bearing</i> .....	12
Gambar 2.8 Sistem kode spesifikasi bantalan.....	13
Gambar 2.9 Seri nomer dimensi .....	13
Gambar 2.10 Kode dimensi <i>bore</i> bantalan.....	14
Gambar 2.11 Jenis <i>seal</i> pada <i>bearing</i> .....	15
Gambar 2.12 Penimbangan beban roda depan dan roda belakang .....	16
Gambar 2.13 Kondisi ackerman kendaraan belok .....	17
Gambar 2.14 Fenomena <i>rolling resistance</i> .....	18
Gambar 2.15 FBD elemen <i>rolling</i> dan koefisien <i>rolling resistance</i> .....	19
Gambar 2.16 Bantalan pada <i>main shaft</i> kendaraan.....	19
Gambar 2.17 Ilustrasi momen inersia silinder berongga .....	20
Gambar 2.18 Skema Alat uji .....	21
Gambar 2.19 Gambar komponen alat uji .....	21
Gambar 2.20 Diagram standar spesifikasi bantalan .....	22
Gambar 2.21 Pengujian <i>rolling resistance</i> menggunakan drum standar ISO 8767 dan 9948 .....	23
Gambar 2.22 Ilustrasi metode pengujian <i>rolling resistance</i> pada bantalan .....	24
Gambar 3.1 Alat uji <i>rolling resistance</i> bantalan .....	30
Gambar 3.2 Timbangan emas <i>load cell</i> 200 gram .....	31
Gambar 3.3 <i>Load cell</i> 50 kg.....	31
Gambar 3.4 Timbangan gantung <i>load cell</i> 50 kg.....	32
Gambar 3.5 <i>Tachometer</i> .....	32

Gambar 3.6 Multimeter .....	33
Gambar 3.7 Motor listrik BLDC 800 watt .....	33
Gambar 3.8 Bantalan uji .....	34
Gambar 3.9 Pengukuran gaya rugi pada setiap level kecepatan .....	36
Gambar 3.10 Mekanisme pengatur beban radial bantalan .....	37
Gambar 3.11 Mekanisme pengatur beban aksial bantalan.....	37
Gambar 3.12 Diagram alir penelitian.....	40
Gambar 4.1 Grafik persen kontribusi.....	65
Gambar 4.2 Luasan kontak pada bantalan .....	66
Gambar 4.3 Grafik tipe bantalan terhadap gaya <i>rolling resistance</i> .....	66
Gambar 4.4 Grafik momen inersia bantalan terhadap <i>rolling resistance</i> .....	67

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A.1 Data gaya rugi bantalan tanpa beban .....	72
Lampiran B.1 Tabel hasil gaya <i>rolling resistance</i> bantalan 6002.....	73
Lampiran B.2 Tabel hasil gaya <i>rolling resistance</i> bantalan 6202.....	74
Lampiran B.3 Tabel hasil gaya <i>rolling resistance</i> bantalan 6302.....	75
Lampiran C.1 Analisis varian untuk bantalan 6002.....	76
Lampiran C.2 Analisis varian untuk bantalan 6202.....	78
Lampiran C.3 Analisis varian untuk bantalan 6302.....	80
Lampiran D.1 Tabel distribusi F dengan $\alpha = 5\%$ .....	82
Lampiran E. Foto kegiatan pembuatan alat uji .....	83
Lampiran F. Foto kegiatan penelitian .....	84

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam pengembangannya, produk kendaraan tidak hanya dituntut untuk memiliki performa bagus, aman, dan nyaman, tetapi juga irit dalam penggunaan energi. Semakin meningkatnya polusi udara memunculkan inovasi untuk mengembangkan penggunaan energi listrik dalam sistem transportasi sebagai solusi alternative pengganti bahan bakar fosil. Dalam mobil listrik masih banyak aspek yang perlu dikembangkan, salah satunya adalah efisiensi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh M. Juhala (2014), efisiensi pada kendaraan dipengaruhi oleh tiga faktor diantaranya : berat kendaraan (*mass*), hambatan gelinding (*rolling resistance*), dan hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*). Faktor lain yang mempengaruhi yaitu mesin kendaraan, sistem transmisi, ban, bantalan (*bearing*), serta kebiasaan mengemudi. Dalam Siklus mengemudi kendaraan yang dilakukan pada New European Driving Cycle (NEDC), menunjukkan setiap kenaikan 10% dari bobot kendaraan akan menaikkan 4% konsumsi energi, setiap kenaikan 10% dari *rolling resistance* kendaraan akan menaikkan 1,8% konsumsi energi, dan setiap kenaikan 10% dari *aerodynamic resistance* kendaraan akan menaikkan 1,5% konsumsi energi. Dari hasil siklus mengemudi, bobot kendaraan menjadi pengaruh yang paling besar pada kenaikan konsumsi energi. Selain bobot kendaraan, *rolling resistance* juga memiliki dampak terhadap kenaikan konsumsi energi. Nilai *rolling resistance* dipengaruhi oleh komponen-komponen kendaraan yang berputar salah satunya adalah bantalan (*bearing*).

Bantalan (*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.

Suatu produk bantalan (*bearing*) memiliki spesifikasi yang menggambarkan performa atau kualitas dari produk tersebut. Spesifikasi bantalan yang sering ditampilkan oleh pabrikan adalah tipe, suaian, dimensi, material, *sealing*, dan *cage*. Belum dijumpai informasi nilai *rolling resistance* dari suatu produk bantalan. Bantalan yang dibutuhkan untuk membuat kendaraan efisien yaitu memiliki nilai *rolling resistance* sekecil mungkin serta kuat dalam menopang beban kendaraan.

Berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh salah satu merek bantalan terkenal di eropa, untuk mengetahui performa dari suatu produk bantalan perlu dilakukan pengujian karakteristik produk. Metode pengujian pada bantalan dilakukan dengan mengacu pada standarisasi yang telah memenuhi standar uji laboratorium sesuai dengan standar ISO/IEC 17025. Untuk alasan keamanan harus dilakukan prosedur pengujian yang ketat sebelum memperkenalkan spesifikasi produk bantalan ke konsumen. Standar ISO/IEC 17025 adalah salah satu alat pengujian yang penting bagi produsen bantalan, dengan alat tersebut dapat memberikan rincian tentang prinsip-prinsip serta kriteria penerimaan produk yang layak.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh I.M. Jamadar dan D.P. Vakharia (2016), pengujian pada suatu produk bantalan dilakukan untuk mendeteksi cacat dengan mengamati getaran yang dihasilkan. Pengaruh berbagai parameter bantalan seperti beban radial, beban aksial, kecepatan putar bantalan, 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. Dalam penelitian ini pengujian menggunakan metode *Taguchi* dan selanjutnya dilakukan *Analysis of Variant* untuk mengetahui apakah ada pengaruh signifikan setiap parameter uji terhadap parameter *output*.

Dari berbagai latar belakang yang sudah dipaparkan, penulis akan mencoba mengangkat penelitian pada bantalan mobil listrik Titen Urban Universitas Jember. Penelitian ini berupa pengujian produk bantalan yang diasumsikan sesuai dengan kondisi aktual dan karakteristik mobil listrik titen urban.

Saat ini untuk pemilihan tipe bantalan yang akan digunakan mobil listrik terkendala karena belum tercantumnya spesifikasi nilai *rolling resistance* pada semua tipe bantalan yang ada dipasaran. Untuk alasan pemilihan bantalan ini, dilakukan pengujian bantalan. Hasil yang diperoleh dari pengujian adalah informasi atau spesifikasi produk berupa nilai *rolling resistance* pada bantalan. Sehingga nantinya diperoleh informasi tipe bantalan yang harus digunakan untuk memenuhi rancangan sesuai dengan kebutuhan mobil listrik.

Standar pengujian yang digunakan mengacu pada penelitian sebelumnya oleh I.M. Jamadar dan D.P. Vakharia, dari Karabuk University, India. Standar kualitas dari produk diukur berdasarkan besar kecilnya nilai *rolling resistance* yang dimiliki bantalan tersebut. Ketika bantalan diberi variasi pembebanan dan kecepatan putar akan dianalisa karakteristiknya menggunakan metode *Analysis of Variance (ANOVA)*. Parameter yang digunakan sebagai analisa yaitu : beban radial, beban aksial, dan kecepatan putar bantalan. Metode *ANOVA (Analysis of Variant)* akan menganalisa dan mengetahui besarnya pengaruh yang diberikan oleh masing-masing parameter tersebut terhadap *rolling resistance* bantalan. Pada akhirnya penelitian ini memberikan informasi tipe bantalan yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil. Penelitian ini dianggap penting karena bisa digunakan sebagai kajian dan informasi untuk pemilihan tipe bantalan dalam meningkatkan efisiensi mobil listrik Universitas Jember.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat diketahui rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Bagaimanakah karakteristik produk bantalan terhadap *rolling resistance* ketika diberi variasi kecepatan putar, beban radial, dan beban aksial.
- b. Bagaimana menentukan produk tipe bantalan yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil.

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam menyusun tugas akhir ini agar pembahasannya tidak melebar serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan maka dibuat suatu batasan permasalahan, yaitu :

- a. Tipe bantalan adalah *single row deep groove ball bearing*.
- b. Tipe bantalan yang di uji yaitu : 6002, 6202, 6302
- c. Suaian bantalan yang digunakan adalah C3
- d. Variabel pengujian sesuai standar karakteristik mobil listrik titen urban
- e. Beban radial yang digunakan pada pengujian yaitu 150N, 200N, 250N
- f. Beban aksial yang digunakan pada pengujian yaitu 150N, 200N, 250N
- g. Kecepatan putar bantalan yang digunakan pada pengujian yaitu 295 rpm, 310 rpm, 325 rpm
- h. Bahan bantalan adalah logam
- i. Bantalan tanpa penambahan pelumas atau kondisi seperti dari pabrikan.
- j. Getaran, umur pemakaian, pelumasan, cacat produk, gaya gesek, serta biaya pemakaian di abaikan.
- k. Motor listrik yang digunakan motor listrik tipe BLDC dengan spesifikasi :
  - 1) V Suplai DC 48V
  - 2) Daya maksimum 800 watt
  - 3) Ampere ideal 30-35A
  - 4) *Speed* maksimum 50 Km/jam
  - 5) Torsi 30-50 Nm
- l. Sistem pemindah daya dari motor ke alat uji adalah *in runner*.
- m. Suhu pengujian pada kondisi suhu ruangan.

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

#### 1.4.1 Tujuan Penelitian

Tujuan yang dicapai dalam penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui karakteristik produk bantalan terhadap *rolling resistance* ketika diberi variasi kecepatan putar, beban radial dan beban aksial.



- b. Mengetahui produk tipe bantalan yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil.

#### 1.4.2 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian pada ini adalah :

- a. Dapat memberikan informasi karakteristik tipe bantalan yang sekarang diuji untuk dijadikan pembandingan pada pengujian tipe bantalan yang lain.
- b. Dapat memberi masukan pada tim mobil listrik untuk memilih tipe bantalan yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil.
- c. Sebagai pijakan dan pola pada pengujian bantalan selanjutnya. Karena masih diperlukan penelitian tipe bantalan yang lain pada mobil listrik.
- d. Dapat mengetahui proses perhitungan supaya mengetahui karakteristik kualitas pada bantalan yang diuji.

#### 1.5 Hipotesis

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan didapatkan hipotesa awal untuk penelitian ini adalah kecepatan putar, beban radial, dan beban aksial masing-masing akan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *rolling resistance* bantalan. Kemudian bantalan yang memiliki dimensi *outside* diameter paling kecil akan memiliki gaya *rolling resistance* paling kecil.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bantalan (*Bearing*)

Bantalan adalah elemen mesin yang mampu 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 dapat bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja secara semestinya. Jadi, bantalan dalam permesinan dapat disamakan peranannya dengan pondasi sebuah gedung. (Sularso, 1997)

#### 2.1.1 Fungsi Bantalan

Bantalan adalah bagian mesin dimana bagian-bagian mesin yang berputar atau bergeser. Bantalan memiliki tiga fungsi utama :

##### a. Mengurangi gesekan

Gesekan adalah hambatan yang ada pada dua permukaan yang saling bergerak bersentuhan. Jika gesekan yang terjadi akibat gerak kedua benda terlalu besar maka dapat merusakkan komponen mesin itu sendiri. Bearing mampu mengurangi gesekan tersebut. Gesekan antara dua benda besarnya tergantung pada bidang kontak dan bahan/material benda itu. Pada poros yang berputar terjadi gesekan antara poros dan bantalan/bearing. Gesekan yang terjadi dapat dikurangi dengan cara memperkecil bidang kontak dengan menggunakan elemen gulir (bola atau rol) sehingga menghasilkan *rolling friction* (gesekan putar). (Wahjudi, 2012)

##### b. Menahan beban

Pemilihan bahan yang tahanan geseknya kecil juga dapat mengurangi gesekan. Pada situasi ini gesekan yang terjadi dinamakan *sliding friction* (gesekan geser). Bearing adalah bagian dari mesin yang memikul beban. Istilah beban berarti gaya yang diterima oleh bearing (Wahjudi, 2012). Beban yang diterima oleh bearing dapat berupa :

- Beban yang diterima oleh poros dan diteruskan ke bearing.
- Gaya berat poros sendiri.

- Gaya tambahan yang tercipta karena gerak poros
- c. Mengatur posisi elemen yang bergerak
- Fungsi bearing yang ketiga adalah mengatur posisi elemen yang bergerak, atau menahan agar bagian yang bergerak tetap pada posisinya. Selain harus mampu menahan agar tidak terjadi pergerakan ke satu arah atau lebih, bearing harus memungkinkan terjadinya pergerakan ke arah yang lain. (Wahjudi, 2012)

#### 2.1.2 Klasifikasi Bantalan

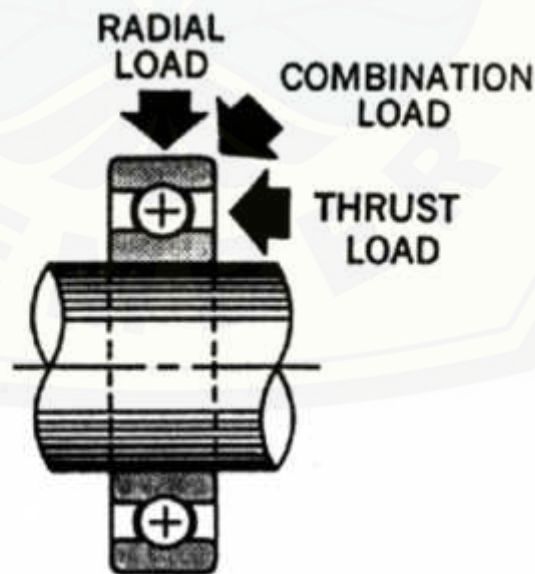
Secara umum bantalan diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu : berdasarkan arah beban dan berdasarkan konstruksi atau mekanismenya.

##### a. Berdasarkan Arah Beban

Berdasarkan arah beban yang bekerja pada bantalan, bantalan dapat diklasifikasikan menjadi :

##### 1. Bantalan Radial (*Radial Bearing*)

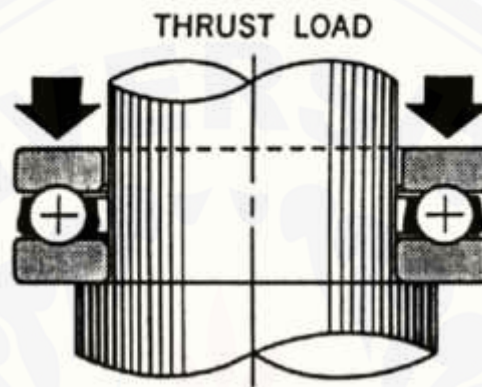
Bantalan radial dimana arah beban yang ditumpu bantalan adalah tegak lurus terhadap sumbu poros. Bantalan ini untuk mendukung gaya radial dari poros saat berputar. Bantalan yang dirancang khusus untuk menerima beban radial diantaranya adalah bantalan roller dengan tipe NU, N, *needle*, dan *toroida*.



Gambar 2.1 *Radial Bearing* (Nice, 2014)

## 2. Bantalan Aksial (*Axial Bearing*)

Bantalan aksial atau disebut *thrust bearing*, yaitu arah beban yang ditumpu bantalan adalah sejajar dengan sumbu poros. Bantalan yang konstruksinya dapat mendukung untuk beban aksial diantaranya yaitu *thrust ball bearing* seperti yang terlihat pada gambar 2.2

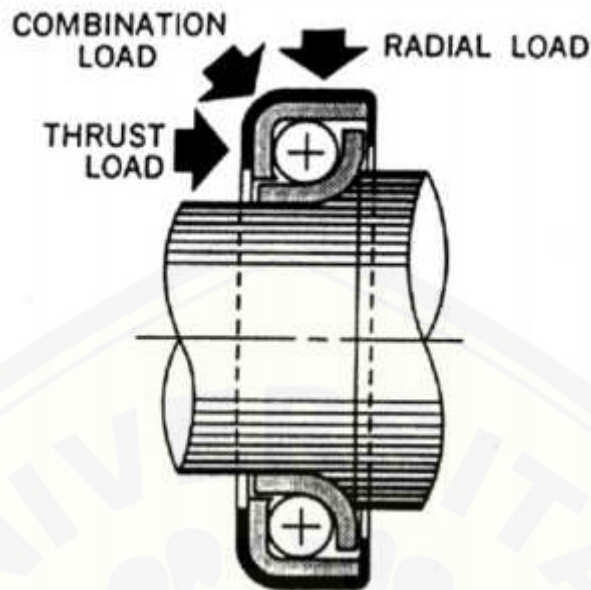


Gambar 2.2 *Thrust ball bearing* (Nice, 2014)

Untuk beban aksial pada kecepatan tinggi dapat menggunakan tipe *angular contact thrust ball bearings*.

## 3. Bantalan Khusus

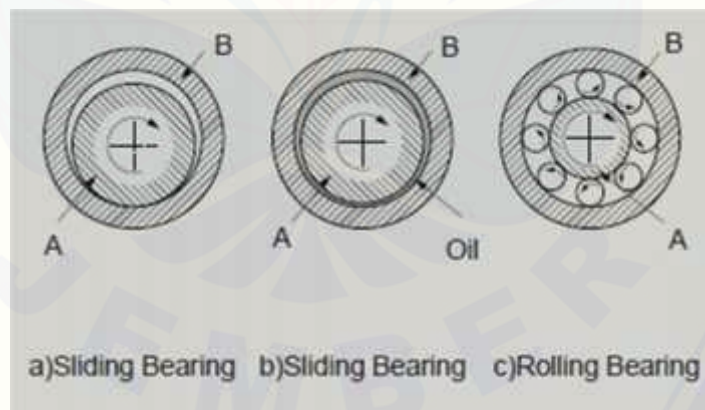
Beban gabungan (beban tangensial) merupakan gabungan dari beban radial dan aksial yang diterima bantalan secara bersamaan. Pada gambar 2.3 adalah geometri beban gabungan yang terjadi pada bantalan. Bantalan yang konstruksinya mendukung untuk menahan beban gabungan diantaranya *single row angular contact ball bearings*, *double row contact ball bearings* dan yang paling sering digunakan adalah *single row tapered roller bearings*.



Gambar 2.3 *Combined Bearings* (Nice, 2014)

b. Berdasarkan konstruksi dan mekanismenya

Berdasarkan konstruksi dan mekanismenya mengatasi gesekan bantalan diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar yaitu bantalan luncur (*sliding bearing*) dan bantalan gelinding (*rolling bearing*).



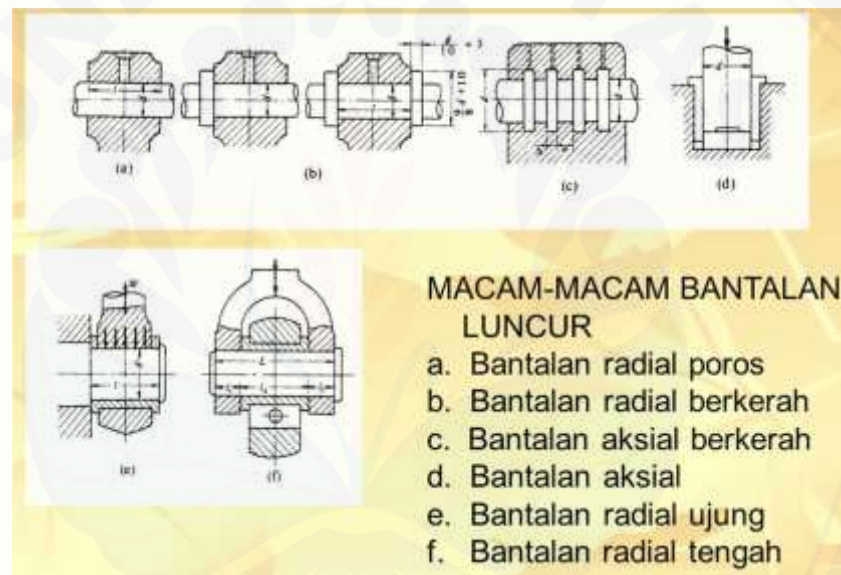
Gambar 2.4 *Sliding bearing and rolling bearing* (Hanwha, 2001)

Pada gambar diatas ada tiga jenis bantalan, *Sliding bearing*(a) terbuat dari bahan khusus yang tidak memerlukan adanya pelumas antara poros A dan bantalan B. *Sliding bearing*(b) memerlukan pelumas otomatis yang terdapat antara poros A dan bantalan B, karena prinsip kerjanya yang menggunakan pelumas bertekanan dari luar untuk mengangkat poros berputar. *Rolling bearing*(c) menggunakan dua tipe yaitu bola dan roller. Bola dan roller pada *rolling bearing*

tujannya juga sama sebagai tumpuan poros A dan bantalan B untuk mengurangi gesekan. Meskipun gerakannya didukung oleh bola atau roller, pada *rolling bearing* masih banyak gesekan yang terjadi, maka dari itu pada *rolling bearing* masih memerlukan bantuan minyak pelumas untuk mengurangi gesekan. Berikut adalah klasifikasi dari bantalan luncur dan bantalan gelinding sebagai berikut :

### 1. Bantalan Luncur (*Sliding Bearing*)

Bantalan luncur adalah bantalan yang terjadi gesekan antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan lapisan pelumas. Bantalan luncur atau *Sliding bearing* terdiri atas beberapa macam seperti pada gambar dibawah ini :



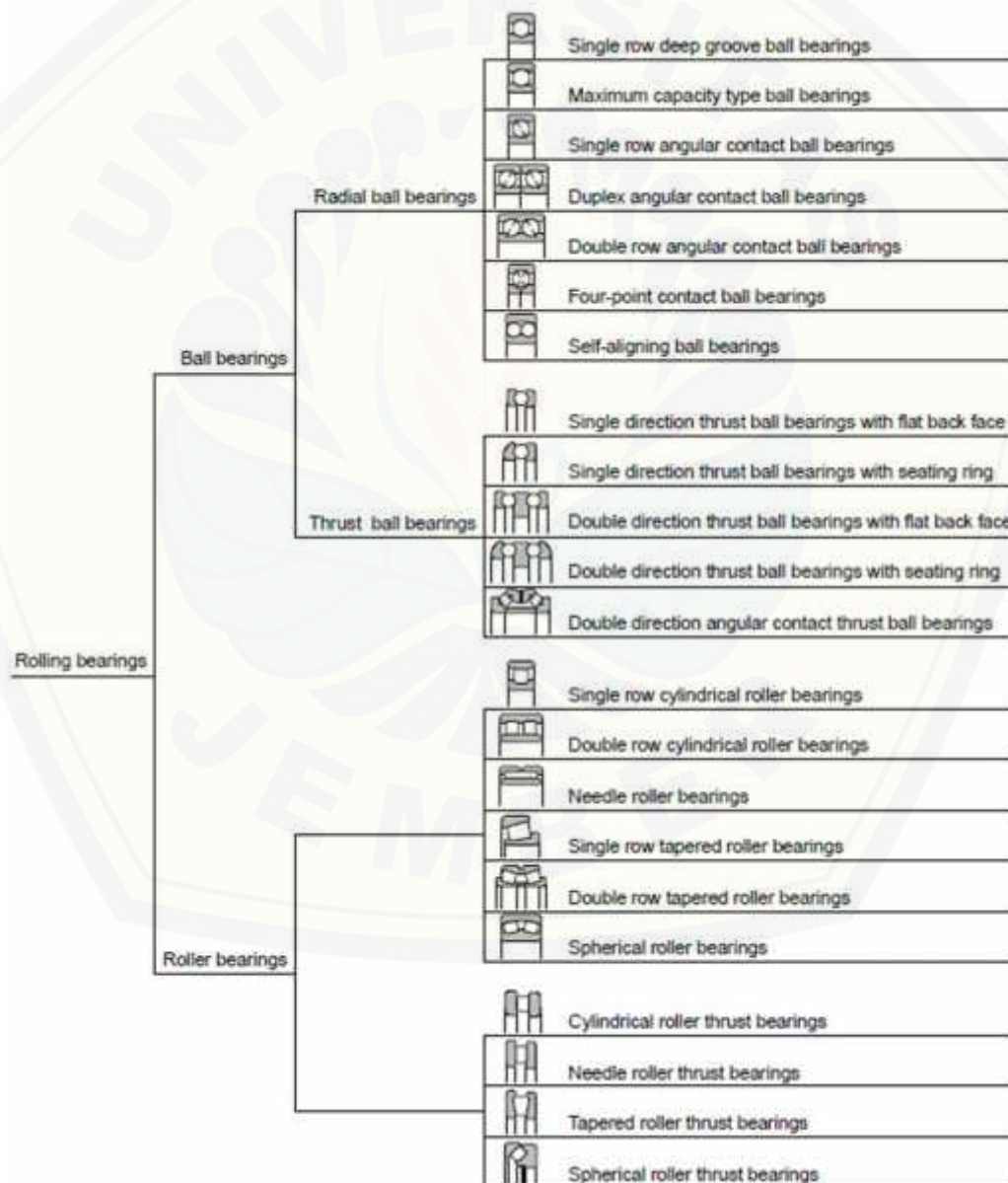
Gambar 2.5 Macam-macam bantalan luncur (Sularso, 1997)

### 2. Bantalan Gelinding (*Rolling Bearing*)

Bantalan gelinding menggunakan elemen rolling untuk mengatasi gesekan antara dua komponen yang bergerak. Diantara kedua permukaan ditempatkan elemen gelinding seperti bola, rol, taper, dll. Kontak gelinding terjadi antara elemen ini dengan komponen lain yang berarti pada permukaan kontak tidak ada gerakan relatif. Bantalan gelinding mempunyai keuntungan dari gesekan gelinding yang sangat kecil dibandingkan dengan bantalan luncur. Elemen gelinding seperti bola atau rol dipasang antara cincin luar dan dalam. Dengan memutar salah satu cincin tersebut, bola atau rol akan melakukan gerakan

gelinding sehingga gesekan akan jauh lebih kecil. Untuk bola atau rol, ketelitian tinggi dengan bentuk dan ukurannya merupakan suatu keharusan. Karena luas bidang kontak antara bola dan rol dengan cincin sangat kecil, maka besarnya beban yang dipakai harus memiliki ketahanan dan kekerasan yang sangat tinggi.

Secara garis besar bantalan gelinding (*rolling element bearing*) terdiri atas dua jenis yaitu bantalan bola (*ball bearing*) dan bantalan rol (*roller bearing*). Kedua jenis ini sendiri masih terdiri berbagai macam lagi, yaitu :



Gambar 2.6 Klasifikasi *rolling bearings* (Nice, 2014)

### 2.1.3 *Single Row Deep Groove Ball Bearings*

*Bearing* ini mempunyai alur dalam pada kedua cincinnya. Karena memiliki alur, maka jenis ini mempunyai kapasitas dapat menahan beban secara ideal pada arah radial dan aksial. Maksud dari beban radial adalah beban yang tegak lurus terhadap sumbu poros, sedangkan beban aksial adalah beban yang searah sumbu poros.



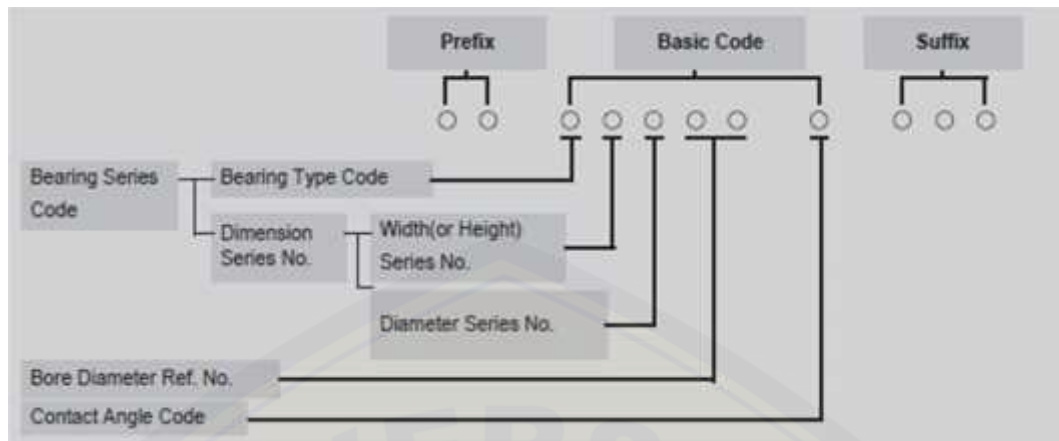
Gambar 2.7 *Single row deep groove ball bearings* (Rizal, 2013)

### 2.1.4 Kode Spesifikasi Bantalan

Pada bantalan diberikan sistem pengkodean dengan tujuan untuk memunculkan spesifikasi tiap bantalan agar bisa membantu dalam memilih bantalan sesuai yang diinginkan. Berikut adalah aturan dalam pengkodean bantalan.

Pada dasarnya sistem kode bantalan terbagi menjadi dua bagian utama yaitu kode dasar (*basic code*) dan kode tambahan (kode keterangan). Berikut sistem kode spesifikasi pada bantalan :





Gambar 2.8 Sistem kode spesifikasi bantalan (Hanwha, 2001)

- a. Kode Awalan (*prefix*) adalah awalan yang digunakan untuk mengidentifikasi komponen bantalan. Kode ini juga dapat mengidentifikasi varian bantalan.
- b. Kode Dasar (*basic code*) terdiri dari kode yang menunjukkan jenis bantalan dan dimensi bantalan. Pada kode dasar tersusun menjadi beberapa kode lagi, diantaranya sebagai berikut :
  - Kode Pertama berupa jenis bantalan (*bearing type code*) yang diwakili oleh satu digit nomor atau satu huruf abjad.
  - Kode Kedua adalah kode ukuran lebar bantalan (*width*) dan diameter bantalan (*outer*). Keduanya nomor seri lebar dan nomor seri diameter disebut nomor seri dimensi (*dimension series*). Kedua kode tersebut biasanya diwakili oleh satu digit kode. Masing-masing arti kode ditampilkan pada gambar dibawah ini.

	Dimension Series Width Series No.	Height Series No.	Diameter Series No.
Radial Bearing (Except tapered roller bearings)	8, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6		7, 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4
Tapered Roller Bearing	0, 1, 2, 3		9, 0, 1, 2, 3
Thrust Bearing		7, 9, 1, 2	0, 1, 2, 3, 4

Gambar 2.9 Seri nomer dimensi (Hanwha, 2001)

- Kode Ketiga dan Keempat melambangkan diameter bore bantalan (*inner*). Selain kode nomor 0 sampai 3, misalnya 4, 5 dan seterusnya maka diameter bore bantalan dikalikan dengan angka 5. misal **04** maka diameter bore bantalan = 20 mm.

Bore Diameter Ref. No.	6	8	9	00	01	02	03	04	05	10	18	/22	/28	/32	/500
Bore Diameter(mm)	6	8	9	10	12	15	17	20	25	50	90	22	28	32	500

Gambar 2.10 Kode diameter *bore* bantalan (Hanwha, 2001)

- c. Kode Akhiran (*suffix*) adalah kode keterangan yang menunjukkan varian pada bantalan. Varian ini biasanya berupa jenis penutup bantalan dan kerenggangan bantalan (*clearance*).

Dibawah ini akan diberikan contoh nomer seri bantalan dan artinya :

▪ 6312 ZZ C3 P6

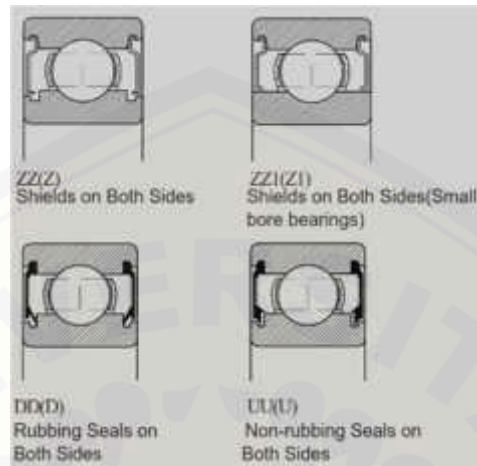
- dimana: 6 adalah jenis *single row deep groove ball bearing*  
 3 adalah singkatan dari lambang 03, di mana 3 menunjukkan diameter luar 130 (mm) untuk diameter lubang 60 (mm)  
 12 berarti  $12 \times 5 = 60$  (mm) diameter bore  
 ZZ berarti berseal 2  
 C3 adalah kelonggaran C3  
 P6 berarti kelas ketelitian 6

▪ 7205 B PC

- dimana: 7 adalah jenis *single row angular contact ball bearing*  
 2 adalah dimensi seri nomer 2  
 05 berarti  $05 \times 5 = 25$  (mm) diameter bore  
 B adalah sudut kontak  $40^\circ$   
 PC cage berbahan dari kaca serat diperkuat polyamid

Bantalan tipe *single row deep groove* memiliki berbagai bentuk desain. Pada desain terbuka atau tanpa menggunakan penutup *seal* memiliki gaya gesek yang lebih kecil daripada dengan bantalan yang menggunakan *seal*. Proses produksi pada bantalan yang menggunakan seal lebih sulit dibandingkan dengan jenis yang terbuka. Akan tetapi bantalan yang didesain memiliki penutup *seal* memiliki umur pakai yang lebih lama. Fungsi dari *seal* sendiri sebagai pelindung agar kotoran atau material tidak dapat masuk ke elemen bantalan. Bantalan tanpa penutup *seal* memerlukan perawatan secara berkala. Perawatan dilakukan dengan membersihkan elemen kontak bantalan kemudian memberikan pelumasan. Pemberian pelumasan yang salah dapat mengurangi umur bantalan, zat adiktif

yang terkandung dalam minyak pelumas dapat meningkatkan suhu saat bantalan bekerja. Oleh karena itu, dalam pergantian pelumasan harus diperhatikan pemilihan pelumas yang tepat untuk menjaga umur bantalan.



Gambar 2.11 Jenis *seal* pada *bearing* (Hanwa, 2001)

Gambar 2.11 menunjukkan jenis-jenis *seal* yang dipakai pada bantalan tipe *single row deep groove*, material yang dipakai ada dua jenis terbuat dari karet dan baja. *Seal* yang terbuat dari baja khusus berguna untuk meningkatkan ketahanan abrasi dan kualitas minyak.

## 2.2 Beban pada Bantalan

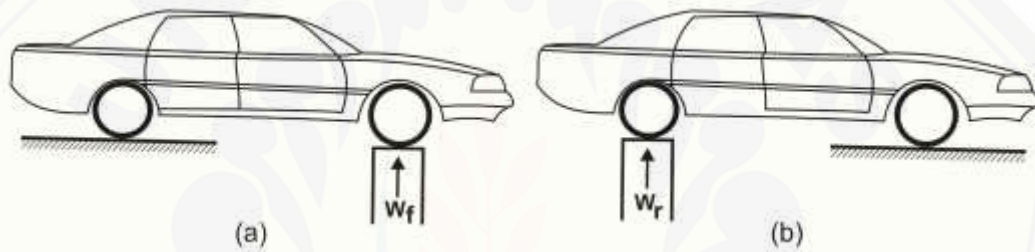
Pada dasarnya beban yang bekerja pada bantalan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu beban radial, beban aksial, dan beban gabungan (aksial-radial). Besarnya beban merupakan salah satu faktor yang biasanya digunakan untuk menentukan ukuran bantalan. Rancangan konstruksi bantalan akan disesuaikan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

### 2.2.1 Beban radial bantalan (*radial loads*)

Beban radial pada bantalan arahnya tegak lurus terhadap sumbu poros. Pada kendaraan, beban radial ini diperoleh dari berat kendaraan yang dapat diukur pada masing-masing roda kendaraan. Berat pada masing-masing roda akan

mewakili berat pada setiap bantalan yang terpasang pada roda kendaraan. Cara untuk mengukur berat dengan memakai peralatan yang cukup sederhana yaitu timbangan. Pengukuran gambar (a) dan (b) dilakukan dengan menimbang bagian depan dan bagian belakang kendaraan pada posisi betul-betul horizontal, seperti ditunjukkan pada gambar 2.12. Jika pada saat menimbang poros depan didapat hasil penimbangan  $W_f$  dan penimbangan poros belakang didapat hasil  $W_r$ , maka berat total kendaraan didapat :

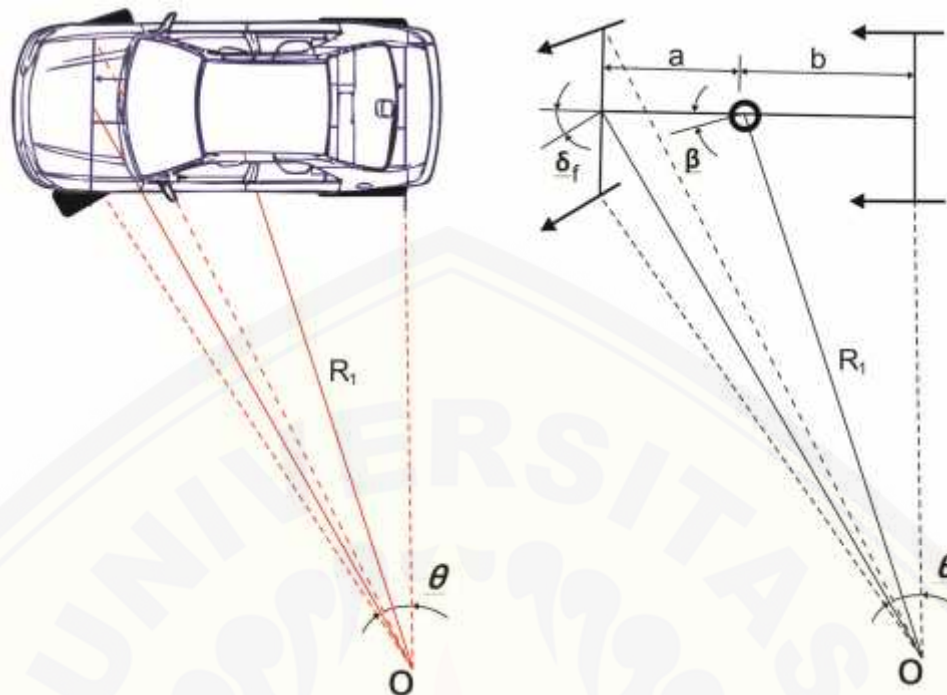
$$W_t = W_f + W_r = W \dots\dots\dots(2.1)$$



Gambar 2.12 Penimbangan beban roda depan dan roda belakang (Sutantra, 2010)

### 2.2.2 Beban aksial bantalan (*axial loads*)

Beban aksial pada kendaraan terjadi saat kendaraan mengalami beban dari samping atau beban yang searah dengan sumbu poros roda. Gerakan belok merupakan gerakan yang dapat menghasilkan beban aksial pada bantalan. Kondisi ideal dari kendaraan belok adalah disebut juga sebagai kondisi ackerman yaitu dimana pada semua roda tidak terjadi sudut slip, sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda. Lihat gambar 2.13



Gambar 2.13 Kondisi ackerman kendaraan berbelok (Sutantra, 2010)

Keterangan :

- O = Pusat putar sementara
- $R_i$  = Radius belok ideal ackerman
- $i$  = Sudut belok ideal
- $\beta$  = Sudut side slip kendaraan
- $\delta_f$  = Sudut *steer* rata-rata dari roda depan

Pada saat kendaraan berbelok akibat gaya kesamping pada roda depan dan belakang maka akan terjadi kemungkinan kendaraan skid pada roda depan atau roda belakang atau kedua-duanya. Skid pada roda depan akan tidak terjadi jika gaya kesamping pada roda depan lebih kecil atau sama dengan gaya gesek yang mampu didukung oleh roda depan. Begitu juga pada roda belakang, skid tidak akan terjadi jika gaya geseknya masih mampu menahan gaya kesamping yang terjadi. Menurut Gaya kesamping yang terjadi pada kendaraan dapat dirumuskan sebagai berikut : (Sumber : Sutantra, 2010)

$$F_c = W (V^2 / R_n) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

$F_c$  = Gaya sentrifugal (N)

$W$  = Berat kendaraan (kg)

$V$  = Kecepatan kendaraan (m/s)

$R_n$  = Radius belok kendaraan (m)

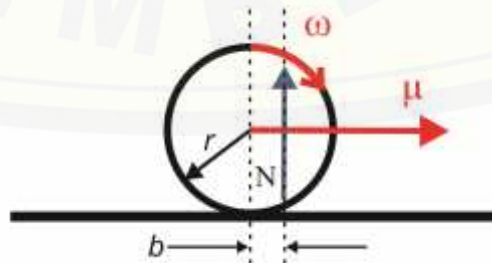
Beban aksial yang terjadi pada bantalan kendaraan diperoleh dari hasil perhitungan gaya kesamping (gaya centrifugal) yang diterima kendaraan yang kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah roda yang dimiliki kendaraan.

### 2.3 *Rolling Resistance* pada Bantalan

*Rolling resistance* pada bantalan adalah tahanan terhadap elemen *rolling* bantalan yang akan dan telah menggelinding karena adanya gesekan antara dua buah permukaan yang berputar atau menggelinding. Gesekan yang terjadi pada bantalan ini merupakan suatu kerugian yang dapat mengurangi efisiensi pada suatu kendaraan.

#### 2.3.1 Pemodelan *Rolling Resistance* pada Bantalan

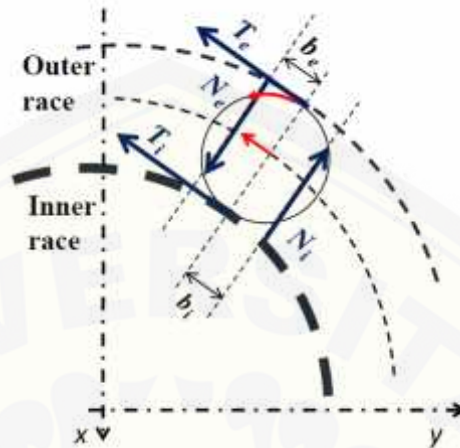
Pendekatan ini berdasarkan dari hipotesis bahwa fenomena *rolling resistance* terjadi karena interaksi antara elemen diam dan elemen bergulir yang menyebabkan timbulnya gaya tangensial untuk menggerakkannya. Dalam sistem yang ditunjukkan gambar 2.14, bahwa elemen bantalan mendapat gaya normal ( $N$ ) sebesar beban yang ditumpu, kemudian kontak gesek antar elemen yang terjadi dimodelkan dengan bergerak maju pada bidang datar. Perpindahan dari gaya normal ( $b$ ) menunjukkan koefisien *rolling resistance* ( $\mu$ ) yang terjadi pada bantalan atau setara dengan tahanan gelinding yang terjadi, dan  $r$  adalah radius elemen bergulir bantalan.



Gambar 2.14 Fenomena *rolling resistance* pada bantalan (Jose L. Gomez, 2016)

$$b = \mu \cdot r \dots\dots\dots(2.3)$$

*Free Body Diagram (FBD)* antara elemen *rolling* dan permukaan *inner* bantalan ditunjukkan pada gambar 2.15 Perhatikan bahwa gambar berikut dianggap sebagai fenomena *rolling resistance*.



Gambar 2.15 *FBD* elemen *rolling* dan koefisien *rolling resistance* (Jose L. Gomez, 2016)

Keterangan :

$b$  = Jarak antara elemen bergulir dan titik penerapan gaya normal

$\mu = R / r$

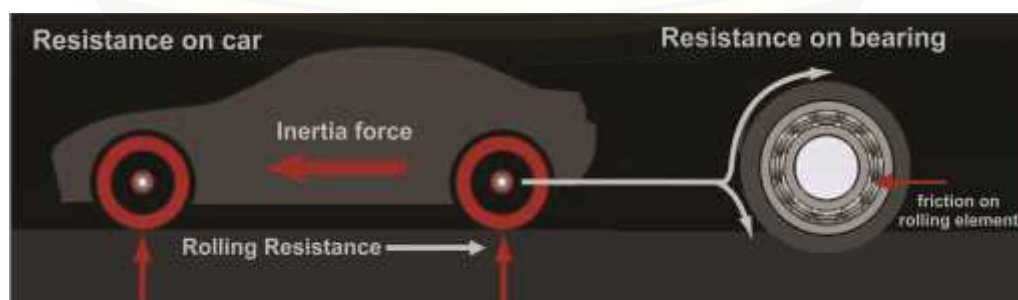
$r$  = Radius elemen bergulir bantalan

$N$  = Gaya normal

$\omega$  = Kecepatan sudut

$T$  = Gaya tangensial pada *inner* bantalan dan *outer* bantalan

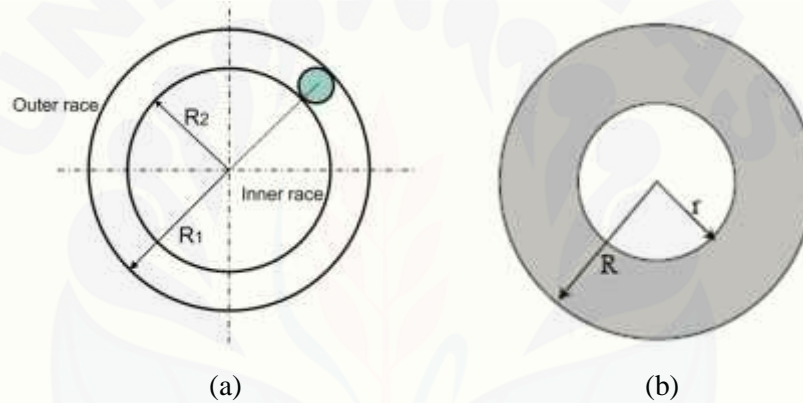
Bantalan yang memiliki pengaruh pada *rolling resistance* kendaraan adalah bantalan yang terpasang pada poros utama roda. Gesekan yang terjadi antar elemen bergulir dapat menghambat kecepatan putaran roda ketika mobil berjalan. Gambar 2.16 merupakan posisi bantalan yang terdapat pada poros roda (*main shaft*) kendaraan.



Gambar 2.16 Bantalan pada *main shaft* kendaraan (Sidharth das, 2014)

## 2.4 Momen Inersia pada Bantalan

Dalam kerjanya sebagai penopang poros yang berputar, bantalan memiliki momen inersia yang dapat mempengaruhi besar gaya yang dibutuhkan untuk memutar bantalan. Momen inersia yang dimiliki suatu benda tegar yang berputar dapat dihitung dengan penjumlahan hasil kali massa tiap partikel benda dengan kuadrat jarak sumbu benda. Namun perlu diperhatikan setiap bentuk geometri dari benda untuk menghitung momen inersia yang dimiliki. Bantalan yang berbentuk cincin dan memiliki ketebalan dapat dihitung menggunakan rumus dari bentuk benda silinder berongga. Berikut penjelasan bentuk geometri dari bantalan untuk menghitung momen inersia yang dimilikinya.



Gambar 2.17 (a) Ilustrasi bentuk geometri bantalan. (b) Bentuk silinder berongga (Hong wang, 2017)

Gambar 2.17 merupakan asumsi pemodelan rumus momen inersia pada bantalan. Sesuai dengan asumsi diatas maka rumus momen inersia ( $I$ ) yang digunakan yaitu rumus momen inersia silinder berongga. Berikut rumusnya :

$$I = M \times R^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$M$  = Massa benda (kg)

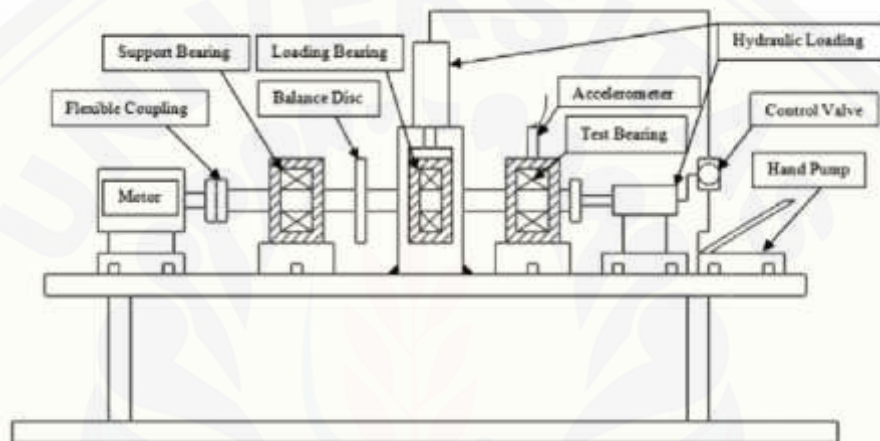
$R$  = Jarak sumbu benda/jari-jari benda (m)

Momen inersia yang dihasilkan menyatakan kemampuan benda untuk mempertahankan kecepatan gerak benda ketika melakukan gerak rotasi. Semakin besar momen inersia dari suatu benda yang berputar mengitari sudut, semakin sulit benda tersebut untuk berputar. Sebaliknya semakin besar momen inersianya semakin sulit juga benda tersebut untuk dihentikan saat berputar.

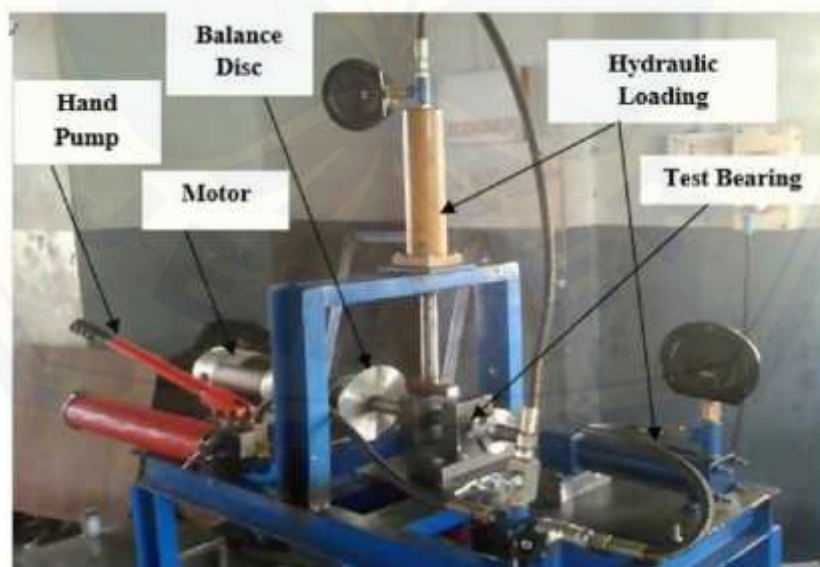


## 2.5 Standar Pengujian pada Bantalan

Metode pengujian pada bantalan dilakukan dengan mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh I.M. Jamadar dan D.P. Vakharia dari *National Institute of Technology*, India. Standar pengujian alat ini untuk mendeteksi cacat pada bantalan dimana getaran yang terjadi pada bantalan digunakan sebagai acuan besar kecilnya cacat. Model pengujian diasumsikan bantalan bekerja seperti kondisi aktual saat kendaraan berjalan, dimana poros diputar menggunakan motor listrik kemudian bantalan diberi beban radial dan beban aksial.



Gambar 2.18 Skema alat uji (Jamadar, 2016)

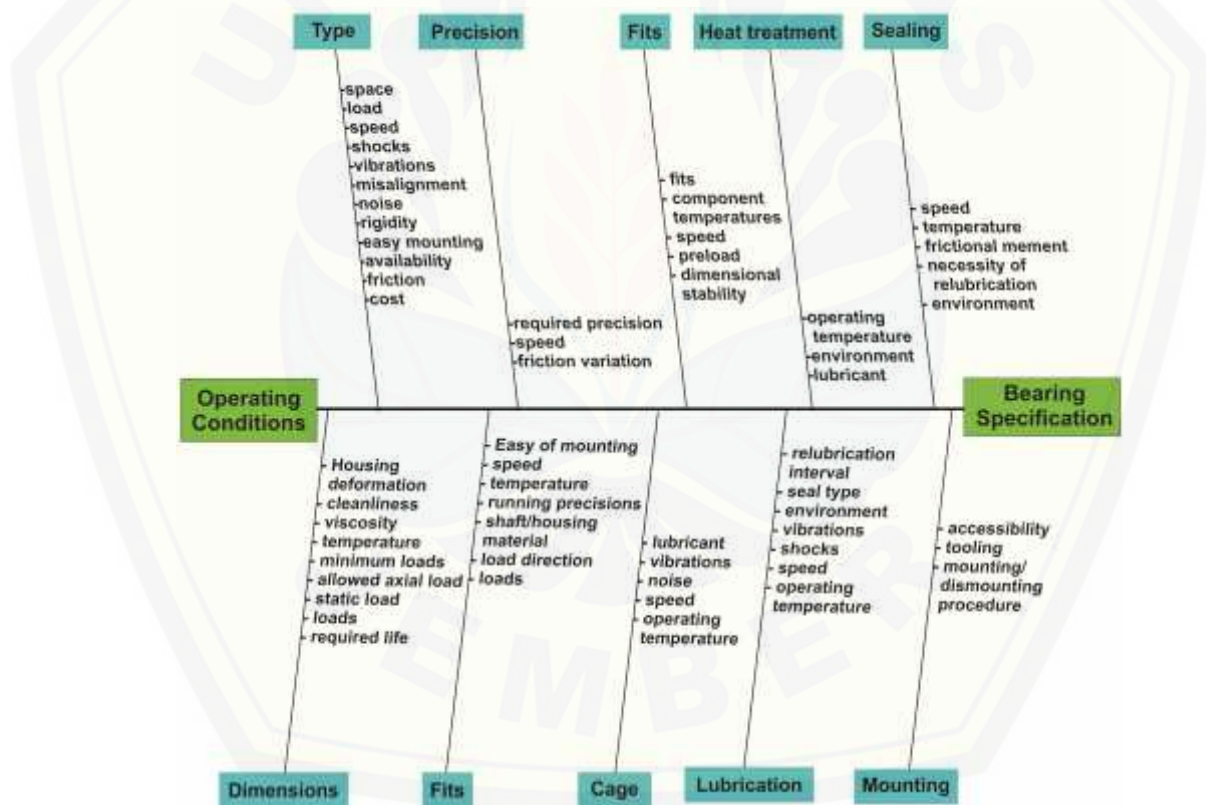


Gambar 2.19 Gambar komponen alat uji (Jamadar, 2016)

Pada gambar 2.18 alat uji menggunakan dua buah bantalan pendukung (*support bearing*), kemudian bantalan yang diuji (*test bearing*) dipasang pada

rumah bantalan. Bantalan yang diputar oleh motor listrik kemudian diberi variasi pembebanan radial dan aksial secara berulang untuk menunjukkan kinerja dari bantalan. Pembebanan pada alat memanfaatkan penekanan dari hidrolis (*hydraulic loading*). Gambar 2.19 adalah komponen-komponen pada alat uji bantalan, mekanisme pembebanan bantalan menggunakan hidrolis penekan baik dari arah radial maupun aksial. Sumber putaran dari motor listrik ditransmisikan ke bantalan menggunakan sistem *inrunner*.

Pada pengujian bantalan akan menghasilkan informasi dari bantalan yang diuji. Informasi tersebut berupa spesifikasi bantalan yang menggambarkan performa yang dimiliki bantalan. Berikut adalah gambar hasil spesifikasi produk yang telah dilakukan oleh salah satu merek terkenal bantalan di Eropa.



Gambar 2.20 Diagram standar spesifikasi bantalan (SKF, 2012)

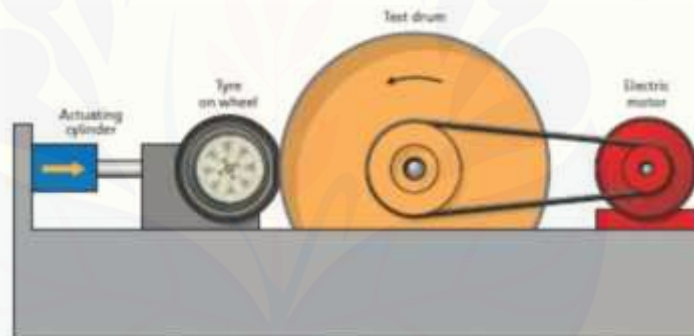
Pada gambar 2.20 di atas spesifikasi bantalan ditampilkan menggunakan diagram tulang ikan atau diagram sebab akibat. Diagram tersebut telah melalui pengujian yang ketat dengan mengacu pada standarisasi yang memenuhi standar uji laboratorium sebelum dikenalkan pada konsumen.

## 2.6 Pengujian *Rolling Resistance* pada Bantalan

### 2.6.1 Pengujian Standar ISO 18164: 2005

Pada pengukuran *rolling resistance* ban terdapat Standar internasional atau standart industri. Tidak ada praktek standar untuk pengukuran sifat *rolling resistance* di jalan umum. Semua yang ada didasarkan pada pengukuran menggunakan *Drum* di laboratorium (Muttaqin, 2015)

Sebuah alat uji laboratorium untuk *rolling resistance* terdiri dari *drum* tes, silinder sejajar dengan pusat *drum*, dan ban yang akan diuji. Ban yang disenggolkan terhadap drum, yang diputar oleh motor. *Rolling resistance* ban mengacu terhadap efek pengereman rotasi *drum*, dan efek ini diterjemahkan ke dalam pengukuran kekuatan, torsi, deselerasi, dll. *The Society of Automotive Engineers* (SAE) dan *International Organization for Standardization* (ISO) keduanya memiliki standar tes masing-masing untuk prosedur ini. (Walter, 2005)



Gambar 2.21 Pengujian *Rolling Resistance* menggunakan Drum Standar ISO 8767 dan 9948 (Walter, 2005)

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

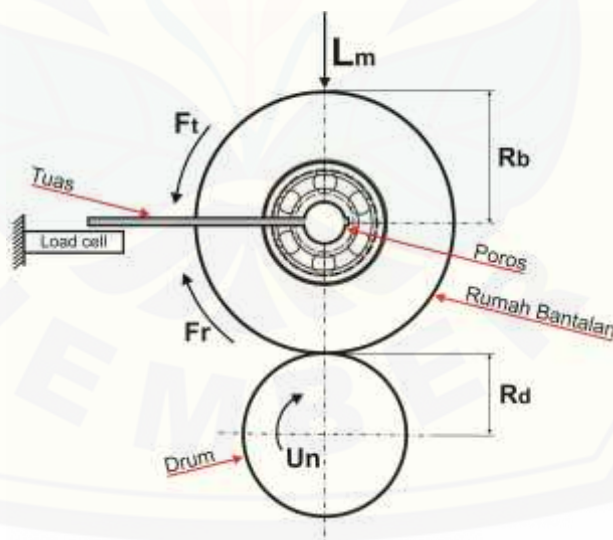
- Metode Gaya (*force method*) yaitu metode yang pengukurannya berdasarkan gaya resistif yang terjadi pada poros ban.
- Metode Torsi (*Torque Method*) yaitu metode yang pengukurannya berdasarkan torsi resistif pada hub drum.
- Metode Power (*Power Method*) yaitu metode yang didasarkan pada pengukuran 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.

#### 2.6.2 Metode Pengujian *Rolling Resistance* pada Bantalan

Pengujian bantalan yang berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh I.M. Jamadar dan D.P. Vakharia pada pembahasan sebelumnya dilakukan untuk mendeteksi cacat yang terjadi pada bantalan, tetapi tidak mencantumkan standar pengujian *rolling resistance*. Standar pengujian *rolling resistance* bantalan kali ini akan menggunakan standar pengujian *rolling resistance* ban dan standar pengujian bantalan yang telah dilakukan oleh I.M. Jamadar. Karena pada prinsipnya sama, bantalan yang berputar pada kecepatan tertentu akan diberi variasi pembebanan. Gaya *rolling resistance* bantalan diperoleh dengan mengukur gaya tangensial tuas ( $F_t$ ) pada poros akibat mengalami perputaran dan mendapat pembebanan.

Sehingga standar pengujian *rolling resistance* bantalan kali ini akan mengkolaborasikan standar yang dipakai oleh I.M. Jamadar dan standar ISO 18164. Berikut ilustrasi metode pengujian *rolling resistance* pada bantalan :



Gambar 2.22 Ilustrasi metode pengujian *rolling resistance* pada bantalan (ISO 18164, 2005)

Keterangan :

- $U_n$  = Kecepatan uji
- $L_m$  =Beban pada bantalan arah gaya normal terhadap permukaan drum

- $R_b$  = Jari-jari rumah bantalan
- $R_d$  = Jari-jari dari drum uji
- $F_r$  = Gaya *rolling resistance*
- $F_t$  = Gaya tangensial bantalan

### 2.6.3 Parameter Peralatan Uji

- a. Diameter drum uji yaitu 36 mm
- b. Diameter rumah bantalan yaitu 56 mm
- c. Pembebanan menggunakan beban tekan ( $L_m$ )
- d. Beban, keselarasan, kontrol dan akurasi alat ukur.

Dimana pengukuran parameter harus cukup akurat dan tepat untuk mendapatkan yang data uji dibutuhkan.

### 2.6.4 Perhitungan Rugi-rugi Alat

Gaya rugi pada alat berkaitan dengan gesekan yang terjadi antara bantalan dengan poros penggerak. Sebelum diberi pembebanan, bantalan diputar pada kecepatan tertentu sesuai parameter pengujian kemudian akan dilihat nilai *rolling resistance* yang terukur. Gaya rugi alat uji ( $F_{Pf}$ ) akan diukur menggunakan *load cell* dinyatakan dalam Newton, dihitung dari gaya  $F_{t0}$  seperti ditunjukkan melalui metode gaya berdasarkan gambar 2.22.

Gaya rugi pada bantalan kemudian dirumuskan pada persamaan sebagai berikut

$$F_{Pf} = F_{t0} \left( 1 + \frac{R_b}{R_d} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

- $F_{Pf}$  = Gaya rugi alat uji (N)
- $F_{t0}$  = Gaya *rolling resistance* bantalan sebelum diberi beban  $L_m$  (N)
- $R_b$  = Jari-jari rumah bantalan (m)
- $R_d$  = Jari-jari dari drum uji (m)

### 2.6.5 Perhitungan gaya *rolling resistance*

Gaya *rolling resistance* dihitung dengan nilai yang diperoleh dari pengujian bantalan setelah diberi pada variasi pembebanan dan variasi kecepatan

poros. Hasil nilai gaya tersebut nantinya akan dikurangi nilai gaya rugi alat uji ( $F_{Pf}$ ) yang diperoleh dari persamaan (2.5)

Gaya *rolling resistance* ( $F_r$ ) dapat dirumuskan ke dalam persamaan 2.6

$$F_r = F_{t1} \left[ 1 + \left( \frac{R_b}{R_d} \right) \right] - F_{Pf} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

- $F_r$  = gaya *rolling resistance* (N)
- $F_{Pf}$  = gaya rugi alat uji yang didapat dari persamaan 2.5 (N)
- $F_{t1}$  = gaya *rolling resistance* bantalan setelah diberi beban  $L_m$  (N)
- $R_b$  = Jari-jari rumah bantalan (m)
- $R_d$  = Jari-jari dari drum uji (m)

**2.7 Analisis Varian (*Analysis of Variant / ANOVA*)**

*ANOVA* atau analisis varian, digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *Sum of Square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

Data eksperimen yang terdiri dari satu faktor/variabel bebas maka analisis datanya menggunakan *ANOVA* satu arah. Sedangkan data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih maka analisis data yang digunakan adalah *ANOVA* dua arah.

Berbagai rumus yang akan ditentukan dalam *Analysis of Variant* diantaranya sebagai berikut :

a. Menghitung Jumlah Kuadrat untuk setiap sumber varian :

1)  $S_{(T)}$  (Jumlah Kuadrat Total)

$$S_{(T)} = \sum Y^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

2)  $S_{(M)}$  (Jumlah Kuadrat Rerata)

$$S_M = n \bar{Y}^2 \dots \dots \dots (2.8)$$

3)  $S_{(t)}$  (Jumlah Kuadrat Total di Reduksi)

$$S_{(t)} = S_{(T)} - S_{(M)} \dots \dots \dots (2.9)$$

4)  $S_{(A)}$  (Jumlah Kuadrat faktor A)

$$S_A = \frac{[T \quad A1]^2}{n_1} + \frac{[T \quad A2]^2}{n_2} - \frac{[T \quad A]^2}{n_1+n_2} \dots\dots\dots (2.10)$$

5)  $S_{(B)}$  (Jumlah Kuadrat faktor B)

$$S_B = \frac{[T \quad B1]^2}{n_1} + \frac{[T \quad B2]^2}{n_2} - \frac{[T \quad B]^2}{n_1+n_2} \dots\dots\dots (2.11)$$

6)  $S_{(C)}$  (Jumlah Kuadrat Interaksi C)

$$S_C = \frac{[T \quad C1]^2}{n_1} + \frac{[T \quad C2]^2}{n_2} - \frac{[T \quad C]^2}{n_1+n_2} \dots\dots\dots (2.12)$$

7)  $S_{(e)}$  (Jumlah Kuadrat Error)

$$S_{(e)} = S_{(T)} - S_{(m)} - S_{(A)} - S_{(B)} - S_{(C)} \dots\dots\dots (2.13)$$

b. Menghitung derajat bebas ( $v$ ) setiap sumber varian :

$$1) \quad v_{(A)} = (\text{banyaknya level A}) - 1 = A-1 \dots\dots\dots (2.14)$$

$$2) \quad v_{(B)} = (\text{banyaknya level B}) - 1 = B-1 \dots\dots\dots (2.15)$$

$$3) \quad v_{(C)} = (\text{banyaknya level C}) - 1 = C-1 \dots\dots\dots (2.16)$$

$$4) \quad v_{(t)} = n_{(T)} - 1 \dots\dots\dots (2.17)$$

$$5) \quad v_{(e)} = v_{(t)} - v_{(A)} - v_{(B)} - v_{(C)} \dots\dots\dots (2.18)$$

c. Menghitung Rerata Jumlah Kuadrat (MS) setiap sumber varian :

$$1) \quad MS_A = \frac{S_A}{v_A} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$2) \quad MS_B = \frac{S_B}{v_B} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$3) \quad MS_C = \frac{S_C}{v_C} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$4) \quad MS_e = \frac{S_e}{v_e} \dots\dots\dots (2.22)$$

d. Menghitung harga  $F_{hitung}$  ( $F_h$ ) untuk setiap sumber varian yang diperlukan :

$$1) \quad F_{hA} = \frac{M_A}{M_e} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$2) \quad F_{hB} = \frac{M_B}{M_e} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$3) F_{hC} = \frac{M_C}{M_e} \dots\dots\dots (2.25)$$

e. Menentukan  $F_{tabel}$  untuk setiap sumber varian yang diperlukan :

Menentukan harga  $F_{tabel}$  ( $F_t$ ) masing-masing sumber varian yang diperlukan yaitu diperoleh dengan cara membaca tabel distribusi F pada *level of significant* ( $\alpha$ ) tertentu (missal  $\alpha = 5\%$  atau  $\alpha = 1\%$ ), derajat bebas pembilang = derajat bebas sumber varian terkait, dan derajat bebas penyebut = derajat bebas sumber varian dalam kelompok.

$$1) F_{tA} = F(\alpha; v_A, v_e) \dots\dots\dots (2.26)$$

$$2) F_{tB} = F(\alpha; v_B, v_e) \dots\dots\dots (2.27)$$

$$3) F_{tC} = F(\alpha; v_C, v_e) \dots\dots\dots (2.28)$$

f. Tabel ringkasan ANOVA dua arah

Tabel 2.1 Tabel ANOVA dua arah (Supardi : 2011)

Sumber Varian	v	Sq	Mq	F hitung	F tabel	
					0,05	0,01
Faktor A	$v_{(A)}$	$S_{(A)}$	$MS_{(A)}$	$F_{h(A)}$	$F_{t(A)}$	$F_{t(A)}$
Faktor B	$v_{(B)}$	$S_{(B)}$	$MS_{(B)}$	$F_{h(B)}$	$F_{t(B)}$	$F_{t(B)}$
Faktor C	$v_{(C)}$	$S_{(C)}$	$MS_{(C)}$	$F_{h(C)}$	$F_{t(C)}$	$F_{t(C)}$
Error [e]	$v_{(e)}$	$S_{(e)}$	$MS_{(e)}$	-	-	-
St	$v_{(t)}$	$S_{(t)}$	-	-	-	-

g. Persen Kontribusi

Persen kontribusi merupakan fungsi jumlah kuadrat untuk masing-masing item yang signifikan. Persen kontribusi mengindikasikan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi dalam mengurangi variansi. Pada Analisis variansi nilai MS untuk suatu faktor (misalnya faktor A) sebenarnya adalah :

- $Sq'$  – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Jumlah kuadrat yang sesungguhnya untuk factor A adalah sebagai berikut :

$$S_A' = S_A - v_A \cdot MS_e \dots\dots\dots (2.29)$$



- Menghitung jumlah kuadrat yang sesungguhnya

$$S_{(t)'} = S_{(T)} - S_{(m)} \dots\dots\dots (2.30)$$

Kita dapat menentukan  $\rho$  (rho) sebagai presentase dari jumlah kuadrat suatu sumber yang sesungguhnya terhadap jumlah kuadrat total :

$$\rho_A = \frac{S_{A'}}{S_{(t)'}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.31)$$

#### h. Uji Hipotesis

Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan yaitu dilakukan dengan membandingkan  $F_{hitung}$  dengan  $F_{tabel}$  , dengan kriteria :

$H_0$  = Tidak terdapat pengaruh parameter/faktor A terhadap variable respon.

$H_1$  = Terdapat pengaruh parameter/faktor A terhadap variable respon.

Apabila nilai  $F_{hitung}$  lebih kecil dari nilai  $F_{tabel}$  ( $F_{hitung} < F_{tabel}$ ), maka hipotesis  $H_0$  diterima. Namun jika nilai  $F_{hitung}$  lebih besar dari nilai  $F_{tabel}$  ( $F_{hitung} > F_{tabel}$ ), maka hipotesis  $H_0$  ditolak.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di ruang riset tim Mobil Listrik Titen Fakultas Teknik, LPM (Lembaga Pengabdian Masyarakat) Universitas Jember. Waktu penelitian akan dilakukan dalam waktu lima bulan yaitu dimulai dari bulan Maret sampai dengan bulan Juli 2017.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 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 :

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Bantalan yang diuji    | 5. Load cell 50 kg        |
| 2. Motor listrik          | 6. Tachometer             |
| 3. Kopel poros            | 7. Mekanisme beban aksial |
| 4. Mekanisme beban radial |                           |

b. Timbangan Emas *Load Cell* 200 gram

Timbangan Emas *Load Cell* 200gr digunakan untuk mengukur gaya *rolling resistance* bantalan. Berikut adalah spesifikasinya :

- *Capacity* : 200 gram
- *Accuracy* : 0,01 gram



Gambar 3.2 Timbangan Emas *Load Cell* 200 gram

c. *Load Cell* 50 kg

*Load cell* 50 kg untuk mengukur beban radial yang diterima bantalan saat pengujian. Berikut adalah spesifikasinya :

- *Capacity* : max 50 kg
- *Sensitivitas Output* : 1.0 +/- 15% mv/V
- Ukuran : 34 x 34 mm



Gambar 3.3 *Load cell* 50 kg

d. Timbangan Gantung *Load Cell* 50 kg

Timbangan ini untuk mengukur beban aksial yang diterima bantalan saat pengujian. Berikut adalah spesifikasinya :

- *Capacity* : max 50 kg
- *Accuracy* : 0,01 kg
- *Ukuran* : 11 cm x 5.8 cm x 2.2 cm



Gambar 3.4 Timbangan gantung *load cell* 50 kg

e. *Tachometer*

*Tachometer* digunakan untuk mengukur kecepatan putar bantalan dalam satuan *rev/min* (rpm).



Gambar 3.5 *Tachometer*

f. *Multimeter*

*Multimeter* digunakan untuk mengukur *voltase* yang dikeluarkan oleh *load cell* saat kalibrasi beban radial.



Gambar 3.6 Multimeter

## g. Motor listrik BLDC

Motor listrik nantinya digunakan sebagai penggerak poros dengan model sistem pemindah daya *inrunner*. Adapun spesifikasi motor listrik sebagai berikut :

- V suplai : DC 48V
- Daya : 800 watt
- Ampere ideal : 30-35A
- *Speed* maksimum : 50 Km/jam
- Torsi : 30-50 Nm



Gambar 3.7 Motor listrik BLDC 800 watt

### 3.2.2 Bahan

#### a. Bantalan

Bahan yang akan digunakan sebagai objek penelitian ini adalah bantalan dengan tiga tipe yang berbeda yaitu kode 6002, 6202, dan 6302.



Gambar 3.8 Bantalan uji (*Single Row Deep Groove*)

### 3.3 Variabel Penelitian

Pada tahap ini adalah tahap awal dalam melakukan proses penelitian, tahap identifikasi masalah dilakukan dengan meneliti permasalahan yang sekarang ada di mobil listrik untuk dijadikan sebagai objek penelitian. Berikut tahapan-tahapan yang dilakukan :

#### a. Penetapan parameter dan level yang digunakan serta variabel respon

Pada dasarnya ada banyak variable yang dapat mempengaruhi efisiensi mobil listrik. Dalam hal ini penelitian dibagi menjadi dua jenis variable yaitu :

##### 1) Variabel Respon (Variabel tak bebas)

Merupakan karakteristik kualitas yang dimiliki bantalan pada mobil listrik yang menjadi objek penelitian yang akan diamati. Dalam hal ini variable respon yang dipilih adalah nilai *rolling resisitance* pada bantalan.

##### 2) Variabel Bebas

Merupakan variabel yang keberadaannya dapat mempengaruhi variable respon. Besar kecilnya variabel bebas dapat dikendalikan sesuai dengan pertimbangan dan tujuan dalam penelitian itu sendiri. Dalam penelitian ini

akan digunakan tiga faktor kendali yang dinilai keberadaannya dapat mempengaruhi variable respon. Faktor-faktor yang akan digunakan yaitu : kecepatan putar bantalan, beban radial, dan beban aksial.

### 3) Level yang digunakan

Penentuan level tahap awal ini bertujuan supaya setiap faktor yang diteliti memiliki batasan. Level-level yang digunakan pada penelitian sesuai dengan karakteristik mobil yang diteliti yaitu mobil listrik Titen Urban. Karakteristik mobil tersebut didapat dari spesifikasi mobil dan kebutuhan lomba mobil listrik. Level-level yang digunakan terdiri dari level bawah yaitu dengan kode -1, level menengah dengan kode 0, dan level atas dengan kode

Untuk lebih jelasnya berikut adalah tabel dari penentuan faktor dan level yang dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Level yang digunakan

Faktor	Level Bawah	Level Menengah	Level Atas
Kode	-1	0	1
Kecepatan Putar	295 <i>rev/min</i>	310 <i>rev/min</i>	325 <i>rev/min</i>
Beban Radial	150 N	200 N	250 N
Beban Aksial	150 N	200 N	250 N

### 3.4 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahapan ini dilakukan setelah permasalahan penelitian sudah teridentifikasi. Berdasarkan tahapan identifikasi yang telah dilaksanakan sebelumnya diketahui bahwa metode pemecahan masalah yang digunakan menggunakan desain eksperimen. Tahapan-tahapan yang digunakan dalam metode desain eksperimen kemudian dapat disusun menjadi langkah-langkah pemecahan masalah secara sistematis. Tahapan ini terdiri dari :

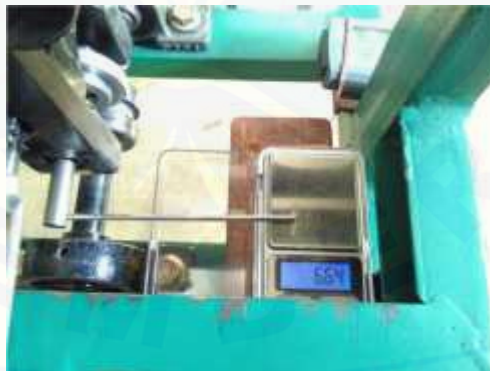
#### a. Pelaksanaan Penelitian (Eksperimen)

Sebelum melaksanakan pengambilan data akan dilakukan perhitungan gaya rugi pada alat ( $F_{Pf}$ ) yaitu dengan mengamati nilai *rolling resistance* yang terukur pada timbangan *load cell* ketika poros diputar pada masing-masing

kecepatan yaitu 295 rpm, 310 rpm dan 320 rpm. Nilai yang diamati pada *load cell* tersebut adalah nilai sebelum diberi variasi pembebanan pada bantalan ( $F_{t_0}$ ).

Setelah diketahui  $F_{Pf}$  pada masing-masing kecepatan putar kemudian melakukan pengambilan data dengan mengamati nilai *load cell* dengan pemberian variasi beban dan variasi kecepatan putar ( $F_{t_1}$ ).  $F_{Pf}$  tadi akan dijadikan pengurang  $F_{t_1}$  untuk memperoleh nilai *rolling resistance* ( $F_r$ ). Berikut adalah prosedur dalam melaksanakan penelitian atau langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengambilan data :

1. Memasang bantalan yang akan diuji pada posisi pengujian. Ada tiga tipe bantalan yang akan dijadikan eksperimen yaitu : 6002, 6202, 6302.
2. Memasang timbangan *load cell* 200gr pada alat uji sebagai pengukur nilai *rolling resistance* bantalan.
3. Putar poros pada masing-masing kecepatan 295 rpm, 310 rpm, 325 rpm tanpa ada pembebanan. Kemudian catat nilai yang terukur pada *load cell* ( $F_{t_0}$ ) untuk masing-masing level kecepatan. Nilai tersebut merupakan gaya rugi alat ( $F_{Pf}$ ) digunakan sebagai pengurang ( $F_{t_1}$ ) untuk menghitung gaya *rolling resistance* ( $F_r$ ).



Gambar 3.9 Pengukuran gaya rugi pada setiap level kecepatan bantalan

4. Mulai melakukan eksperimen dengan menyalakan motor listrik dan mengatur kecepatan putar sesuai nilai level standar yang sudah ditetapkan sampai konstan. Misal, eksperimen pertama pada level kecepatan 295 rpm.
5. Mengatur baban radial pada alat uji sesuai dengan nilai level standar yang sudah ditetapkan. Misal, eksperimen pertama pada level beban radial 150 N.





Gambar 3.10 Mekanisme pengatur beban radial bantalan

6. Mengatur baban aksial pada alat uji sesuai dengan nilai level standar yang sudah ditetapkan. Misal, eksperimen pertama pada level beban aksial 150 N.



Gambar 3.11 Mekanisme pengatur beban aksial bantalan

7. Amati nilai yang terukur pada timbangan *load cell* 200gr. Nilai tersebut menunjukkan gaya *rolling resistance* ( $F_{t1}$ ) bantalan .
  8. Ulangi langkah (1) sampai (7) dengan meruubah nilai variable kecepatan putar, beban radial, dan beban aksial sesuai dengan kombinasi level.
  9. Lakukan langkah (1) sampai (8) pada tiga tipe bantalan yang dijadikan objek pengujian yaitu 6002, 6202, dan 6302.
- b. Analisis Data

Analisis pada penelitian ini menggunakan metode *Analysis of Variant (ANOVA)*. Dalam hitungan manual nantinya akan dibandingkan dengan hitungan di *software* menggunakan bantuan *software Minitab 16*. Tahapan yang harus dilakukan pada analisis adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengambilan data

Pengambilan data pada metode *ANOVA* sesuai jumlah parameter dan jumlah level yaitu menggunakan desain faktorial  $3 \times 3 \times 3$ .

Tabel 3.2 Pengambilan data dengan desain faktorial  $3 \times 3 \times 3$  (Supardi, 2011)

Parameter A	Parameter B	Parameter C			Hasil
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	
A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	Y <sub>111</sub>	Y <sub>112</sub>	Y <sub>113</sub>	$\bar{Y}_{110}$
	B <sub>2</sub>	Y <sub>121</sub>	Y <sub>122</sub>	Y <sub>123</sub>	$\bar{Y}_{120}$
	B <sub>3</sub>	Y <sub>131</sub>	Y <sub>132</sub>	Y <sub>133</sub>	$\bar{Y}_{130}$
A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	Y <sub>211</sub>	Y <sub>212</sub>	Y <sub>213</sub>	$\bar{Y}_{210}$
	B <sub>2</sub>	Y <sub>221</sub>	Y <sub>222</sub>	Y <sub>223</sub>	$\bar{Y}_{220}$
	B <sub>3</sub>	Y <sub>231</sub>	Y <sub>232</sub>	Y <sub>233</sub>	$\bar{Y}_{230}$
A <sub>3</sub>	B <sub>1</sub>	Y <sub>311</sub>	Y <sub>312</sub>	Y <sub>313</sub>	$\bar{Y}_{310}$
	B <sub>2</sub>	Y <sub>321</sub>	Y <sub>322</sub>	Y <sub>323</sub>	$\bar{Y}_{320}$
	B <sub>3</sub>	Y <sub>331</sub>	Y <sub>332</sub>	Y <sub>333</sub>	$\bar{Y}_{330}$

2. *ANOVA (Analysis of Variant)*

*ANOVA* akan digunakan untuk mengetahui besar pengaruh/kontribusi dari setiap parameter kendali terhadap variable respon. Besarnya pengaruh/kontribusi tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *Sum of Square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

3. Persen kontribusi

Persen kontribusi merupakan fungsi jumlah kuadrat untuk masing-masing item yang signifikan. Persen kontribusi mengindikasikan kekuatan relatif dari suatu faktor dan atau interaksi dalam mengurangi variansi.

#### 4. Uji hipotesis

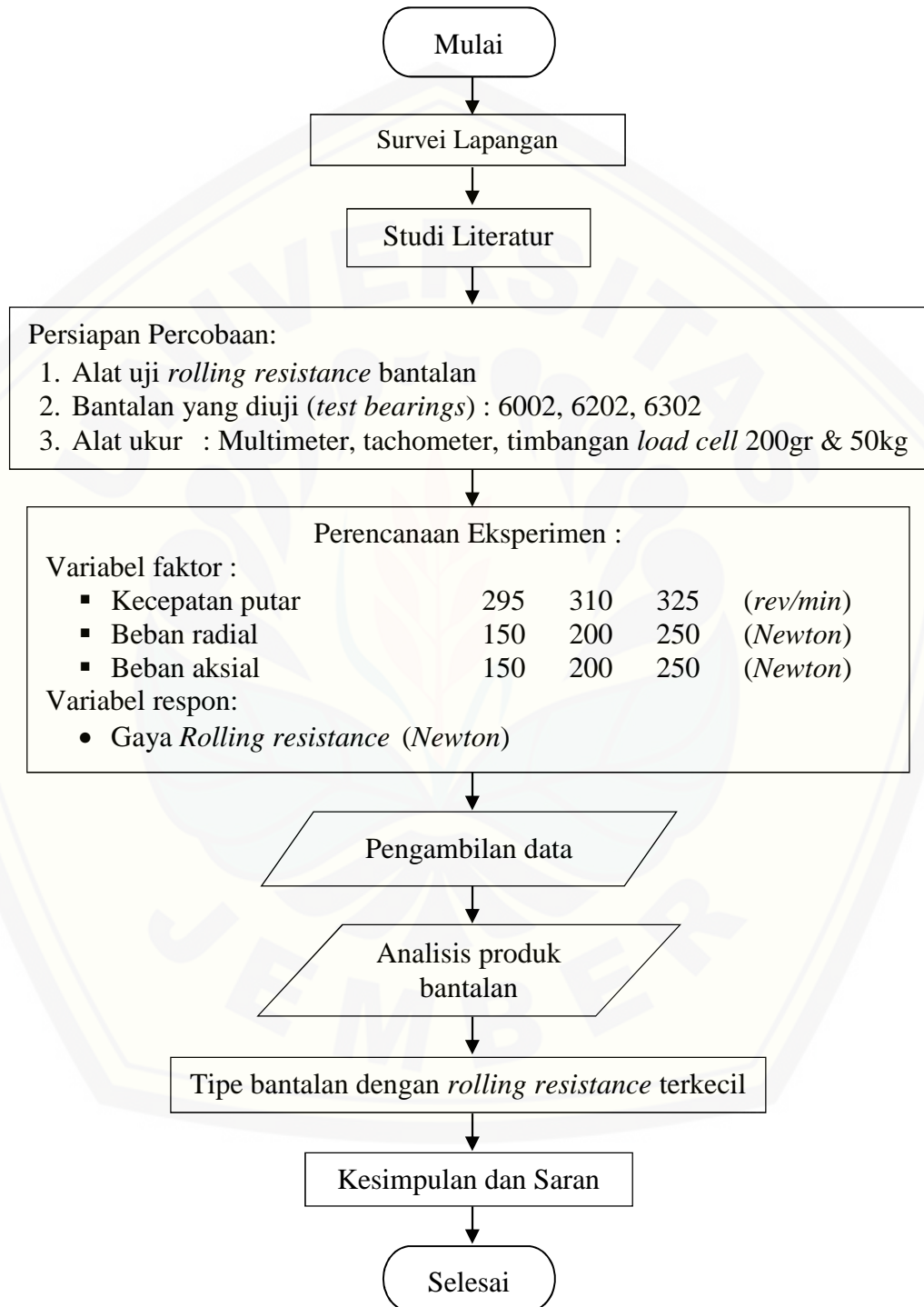
Hasil dari pengujian hipotesis ini adalah adanya keputusan menerima atau menolak dugaan dari hipotesis tersebut. Pengambilan keputusan untuk menerima dan menolak hipotesis tidak mutlak mengindikasikan bahwa hipotesis tersebut memang pasti benar atau pasti salah. Penolakan dilakukan bila ditemukan bukti yang tidak konsisten ataupun tidak signifikan dengan hipotesis dan penerimaan dilakukan bila tidak ditemukannya bukti untuk menolak hipotesis. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi sebesar 5% atau 0,05 untuk variabel respon dengan artian ada kemungkinan satu diantara delapan puluh satu keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru.

#### **3.5 Penarikan Kesimpulan**

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

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian akan ditampilkan pada diagram alir agar jalannya penelitian mudah dipahami. Berikut diagram alirnya :



Gambar 3.12 Diagram Alir Penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian yang disertai analisis data hasil penelitian, maka diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Karakteristik produk bantalan 6002, 6202, dan 6302 menunjukkan bahwa nilai *rolling resistance* bantalan akan semakin rendah pada saat kecepatan putar bantalan yang semakin tinggi dan pembebanan aksial-radial bantalan yang semakin rendah.
- b. Dari ketiga produk bantalan yang diuji, produk bantalan tipe 6002 memiliki nilai *rolling resistance* paling rendah berkisar 0,2323 *newton* pada kombinasi parameter kecepatan putar 325 rpm, beban radial 150 *newton*, dan beban aksial 150 *newton*.

### 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, adapun beberapa saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

- a. Pada penelitian ini adalah pengujian untuk mengetahui karakteristik bantalan pada tipe *single row deep groove ball bearing*, tipe tersebut sekarang diaplikasi pada mobil listrik titen urban. Pada penelitian ini adalah pola awal untuk mengetahui karakteristik suatu bantalan. Masih dibutuhkan informasi karakteristik bantalan pada banyak tipe. Jadi, nanti setelah melakukan penelitian pada semua tipe bantalan akan didapatkan saran untuk memilih tipe bantalan yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil.
- b. Banyak faktor yang mempengaruhi *rolling resistance*, tipe bantalan hanyalah salah satu faktor yang mempengaruhi *rolling resistance*. Pada tipe bantalan sendiri juga masih dipengaruhi oleh jenis luasan kontak dan jenis *ball* yang dipakai dalam bantalan. Selain itu, jenis pelumasan, material bantalan, umur pemakaian, serta getaran juga mempengaruhi *rolling resistance*. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya dilakukan penelitian pengaruh jenis pelumasan dan uji ketahanan terhadap *rolling resistance*.

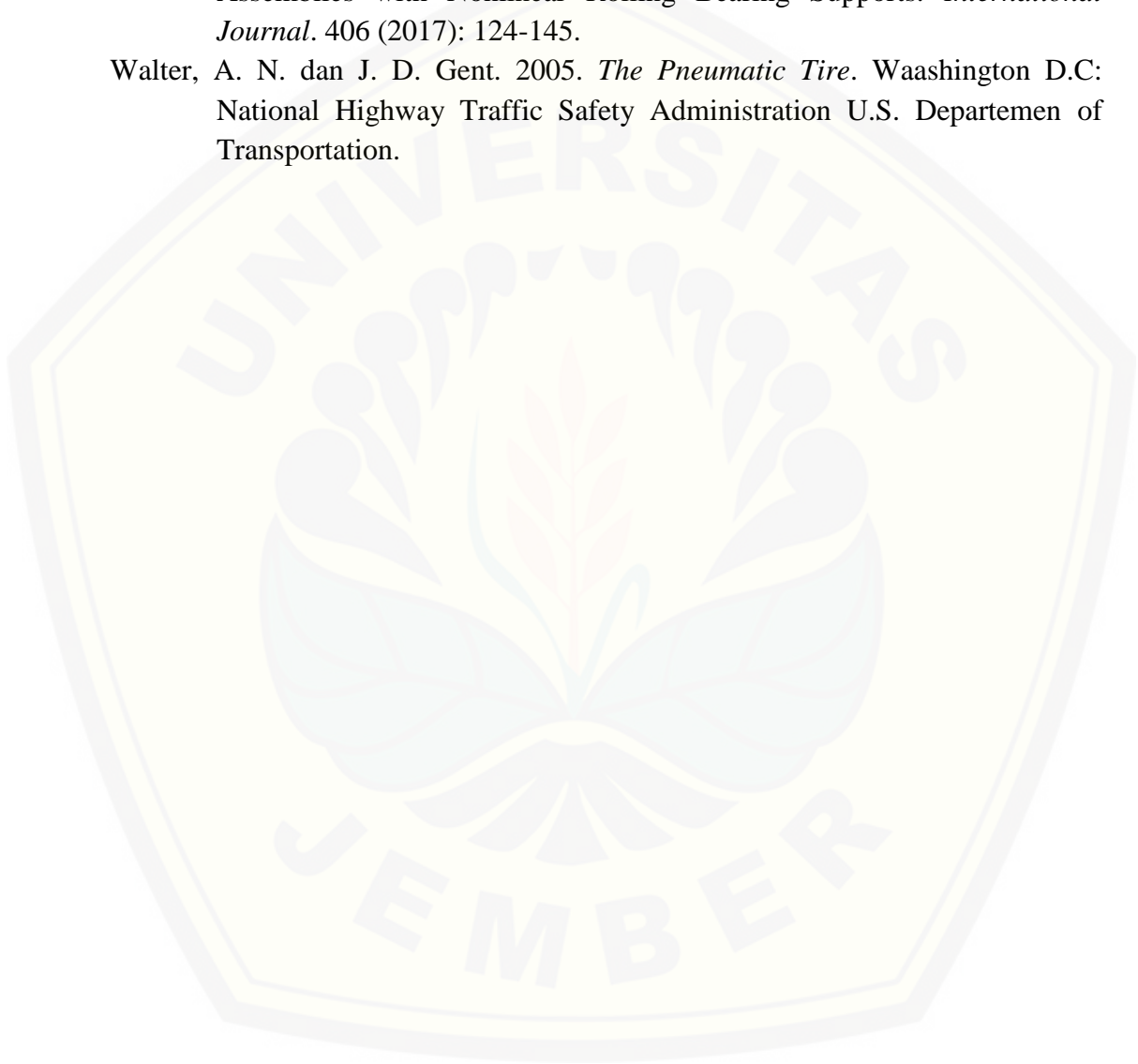
- c. Beban radial merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap *rolling resistance* bantalan. Beban radial nilainya sebanding dengan bobot kendaraan, maka dari itu bobot kendaraan pada mobil listrik harus dirancang seringan mungkin agar memiliki nilai *rolling resistance* yang serendah mungkin.



**DAFTAR PUSTAKA**

- FAG Hanwha. 2001. *KBC Rolling Bearing*. FAG Hanwha Bearings Corp.
- Gomez, J. L., A. Bourdon, H. Andre, dan D. Remond. 2016. Modelling Deep Groove Ball Bearing Localized Defect Inducing Instantaneous Angular Speed Variations. *Tribology International*.
- Hakim, M. L. A. 2016. Pengaruh Pengaruh Sudut Slip (*Slip Angel*) Terhadap Rolling Resistance Ban tipe 90/90-14 M/C 46P. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- IS/ISO 18164 (2005): *Passenger Car, Truck, Bus and Motorcycle Tyres - Methods of Measuring Rolling Resistance* [TED 7: Automotive Tyres, Tubes and Rims].
- 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.
- Juhala, M. 2014. *Improving Vehicle Rolling Resistance and Aerodynamics*. Finland: Woodhead Publishing Limited.
- Muttaqin, M. M. 2015. Pengaruh Tekanan Udara (*Inflation Pressure*) pada Ban Tipe Radial Ply Terhadap Rolling Resistance. *Jurnal ROTOR*. Vol. 8 Nomor 2, November 2015.
- Nice. 2014. *Specialty Ball Bearings*. RBC Bearings.
- Rizal, M. F.A. 2013. MAKALAH BANTALAN/BEARING. *Makalah Kuliah Umum*. Jakarta: Politeknik Manufaktur Astra.
- Sidharth das, B. M. R. 2014. Tyre modelling for rolling resistance. *International Journal*. 24 (2014): 3.
- SKF. 2012. *Railway Technical Handbook*. Volume 1, Chapter 4, Page 99-105. Rusia: PUB 42/P2 12788 EN.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimental dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sularso. 1997. *DASAR PERENCANAAN DAN PEMILIHAN ELEMEN MESIN*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Supardi. 2011. *Aplikasi Statistik Dalam Penelitian*. Jakarta: PT. Ufuk Publishing House.
- Sutantra, I. N. dan B. Sampurno. 2010. *Teknologi Otomotif*. Surabaya: Penerbit Guna Widya.
- Taghavifar, H. dan A. Mardani. 2013. Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics*. 50 (2013): 99–106.

- Taghaviar, A. dan A. Mardani. 2014. Wavelet neural network applied for prognostication of contact pressure between soil and driving wheel. *Journal of Terramechanics*. 1 (2014): 51-56.
- Wajudi, S. 2012. <https://sadarwahjudi.files.wordpress.com>. [“Diakses pada 25 Februari 2017”].
- Wang, H., Q. Han, R. Luo, T. Qing. 2017. Dynamic Modeling of Moment Wheel Assemblies with Nonlinear Rolling Bearing Supports. *International Journal*. 406 (2017): 124-145.
- Walter, A. N. dan J. D. Gent. 2005. *The Pneumatic Tire*. Waashington D.C: National Highway Traffic Safety Administration U.S. Departemen of Transportation.





**LAMPIRAN A.1 DATA GAYA RUGI BANTALAN TANPA BEBAN ( $F_{PF}$ )**

- Data gaya rugi bantalan 6002 ( $F_{PF}$ )

<b>Kec. Putar</b>	<b>Gaya tangensial (<math>F_{t_0}</math>)</b>	<b>Gaya tangensial (<math>F_{t_0}</math>)</b>	<b>Gaya rugi (<math>F_{PF}</math>)</b>
295 rpm	6,99 gram	0,070 N	0,179 N
310 rpm	6,68 gram	0,067 N	0,171 N
325 rpm	5,90 gram	0,060 N	0,151 N

- Data gaya rugi bantalan 6202 ( $F_{PF}$ )

<b>Kec. Putar</b>	<b>Gaya tangensial (<math>F_{t_0}</math>)</b>	<b>Gaya tangensial (<math>F_{t_0}</math>)</b>	<b>Gaya rugi (<math>F_{PF}</math>)</b>
295 rpm	7,11 gram	0,071 N	0,182 N
310 rpm	6,72 gram	0,067 N	0,172 N
325 rpm	6.11 gram	0,061 N	0,156 N

- Data gaya parasif bantalan 6302 ( $F_{PF}$ )

<b>Kec. Putar</b>	<b>Gaya tangensial (<math>F_{t_0}</math>)</b>	<b>Gaya tangensial (<math>F_{t_0}</math>)</b>	<b>Gaya rugi (<math>F_{PF}</math>)</b>
295 rpm	7,62 gram	0,076 N	0,195 N
310 rpm	7,29 gram	0,073 N	0,186 N
325 rpm	7,11 gram	0,071 N	0,182 N

LAMPIRAN B.1 TABEL HASIL GAYA *ROLLING RESISTANCE* BANTALAN 6002 (Fr)

Eks.	Parameter			Gaya Tangensial/Ft <sub>1</sub> (gram)			Gaya Rolling Resistance/Fr (N)			Rata-rata (N)	S/N ratio
	Kecepatan Putar (rpm)	Beban Radial (N)	Beban Aksial (N)	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3		
1	295	150	150	18,11	18,18	19,44	0,28418	0,28584	0,31817	0,29606	10,5603
2	295	150	200	22,56	23,27	22,74	0,39790	0,41604	0,40237	0,40544	7,8399
3	295	150	250	24,26	24,62	25,17	0,44122	0,45054	0,46447	0,45208	6,8938
4	295	200	150	24,20	24,37	24,65	0,43968	0,44403	0,45131	0,44501	7,0322
5	295	200	200	25,29	25,00	26,05	0,46767	0,46013	0,48709	0,47163	6,5255
6	295	200	250	27,21	27,31	27,31	0,51673	0,51929	0,51929	0,51844	5,7061
7	295	250	150	26,36	26,56	27,12	0,49488	0,49999	0,51431	0,50306	5,9664
8	295	250	200	27,46	28,67	28,73	0,52312	0,55392	0,55545	0,54416	5,2822
9	295	250	250	30,03	30,81	30,96	0,58867	0,60873	0,61244	0,60328	4,3883
10	310	150	150	17,03	18,05	17,57	0,26459	0,29065	0,27826	0,27783	11,1180
11	310	150	200	21,89	21,51	22,18	0,38879	0,37907	0,39620	0,38802	8,2215
12	310	150	250	23,97	23,41	24,04	0,44194	0,42763	0,44373	0,43777	7,1740
13	310	200	150	23,86	23,41	22,94	0,43913	0,42763	0,41562	0,42746	7,3799
14	310	200	200	25,11	24,32	24,51	0,47107	0,45089	0,45574	0,45923	6,7578
15	310	200	250	25,97	26,12	26,68	0,49305	0,49689	0,51120	0,50038	6,0130
16	310	250	150	25,48	25,52	26,03	0,48053	0,48155	0,49459	0,48556	6,2745
17	310	250	200	27,41	27,29	26,84	0,52985	0,52679	0,51529	0,52397	5,6132
18	310	250	250	30,03	29,57	29,19	0,59681	0,58505	0,57534	0,58573	4,6450
19	325	150	150	14,64	14,53	15,83	0,22314	0,22046	0,25355	0,23239	12,6578
20	325	150	200	18,23	17,57	17,02	0,31501	0,29815	0,28409	0,29909	10,4764
21	325	150	250	19,88	20,79	20,67	0,35718	0,38044	0,37737	0,37166	8,5937
22	325	200	150	19,52	20,83	19,83	0,34798	0,38146	0,35590	0,36178	8,8243
23	325	200	200	21,54	22,86	22,49	0,39960	0,43334	0,42388	0,41894	7,5520
24	325	200	250	23,32	24,90	24,48	0,44509	0,48547	0,47474	0,46843	6,5813
25	325	250	150	22,26	21,83	22,34	0,41800	0,40689	0,42005	0,41498	7,6386
26	325	250	200	24,78	23,39	23,45	0,48240	0,44675	0,44841	0,45919	6,7546
27	325	250	250	27,17	28,46	27,26	0,54335	0,57645	0,54578	0,55519	5,1079

LAMPIRAN B.2 TABEL HASIL GAYA *ROLLING RESISTANCE* BANTALAN 6202 (Fr)

Eks.	Parameter			Gaya Tangensial/Ft <sub>1</sub> (gram)			Gaya Rolling Resistance/Fr (N)			Rata-rata (N)	S/N ratio
	Kecepatan Putar (rpm)	Beban Radial (N)	Beban Aksial (N)	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3		
1	295	150	150	22,17	19,97	22,08	0,38495	0,32873	0,38252	0,36540	8,7227
2	295	150	200	23,23	23,64	25,37	0,41191	0,42252	0,46673	0,43372	7,2428
3	295	150	250	28,58	27,33	27,77	0,54864	0,51682	0,52806	0,53117	5,4926
4	295	200	150	25,54	25,14	25,87	0,47107	0,46085	0,47951	0,47048	6,5481
5	295	200	200	26,29	26,65	26,30	0,49024	0,49931	0,49050	0,49335	6,1366
6	295	200	250	30,10	31,14	30,11	0,58748	0,61419	0,58786	0,59651	4,4857
7	295	250	150	29,92	31,34	29,03	0,58301	0,61930	0,56026	0,58752	4,6121
8	295	250	200	30,20	33,07	30,50	0,59016	0,66338	0,59783	0,61712	4,1803
9	295	250	250	32,71	33,47	33,44	0,65418	0,67360	0,67284	0,66687	3,5184
10	310	150	150	18,53	19,45	19,74	0,30164	0,32515	0,33269	0,31983	9,8943
11	310	150	200	21,57	21,53	22,17	0,37946	0,37844	0,39479	0,38423	8,3066
12	310	150	250	25,44	25,17	25,42	0,47836	0,47146	0,47785	0,47589	6,4497
13	310	200	150	22,37	21,95	22,42	0,39990	0,38917	0,40118	0,39675	8,0289
14	310	200	200	23,11	24,06	23,07	0,41881	0,44309	0,41779	0,42656	7,3970
15	310	200	250	29,17	28,84	28,23	0,57368	0,56525	0,54966	0,56286	4,9906
16	310	250	150	29,32	28,32	28,13	0,57751	0,55196	0,54710	0,55886	5,0515
17	310	250	200	31,81	30,00	30,01	0,64115	0,59476	0,59515	0,61035	4,2829
18	310	250	250	30,07	31,77	31,54	0,59668	0,64012	0,63425	0,62368	4,0966
19	325	150	150	17,58	16,78	17,38	0,29325	0,27268	0,28801	0,28465	10,9098
20	325	150	200	17,62	18,97	17,34	0,29427	0,32877	0,28712	0,30339	10,3445
21	325	150	250	22,85	22,12	22,91	0,42793	0,40927	0,42946	0,42222	7,4872
22	325	200	150	18,96	19,33	18,78	0,32852	0,33797	0,32392	0,33014	9,6248
23	325	200	200	19,22	20,12	19,78	0,33516	0,35816	0,34947	0,34760	9,1752
24	325	200	250	27,14	26,11	26,13	0,53756	0,51124	0,51175	0,52018	5,6744
25	325	250	150	25,73	26,31	25,52	0,50153	0,51635	0,49616	0,50468	5,9384
26	325	250	200	26,52	26,27	26,03	0,52172	0,51533	0,50919	0,51541	5,7565
27	325	250	250	30,26	29,95	30,45	0,61717	0,60937	0,62215	0,61623	4,2048

LAMPIRAN B.3 TABEL HASIL GAYA *ROLLING RESISTANCE* BANTALAN 6302 (Fr)

Eks.	Parameter			Gaya Tangensial/Ft <sub>1</sub> (gram)			Gaya Rolling Resistance/Fr (N)			Rata-rata (N)	S/N ratio
	Kecepatan Putar (rpm)	Beban Radial (N)	Beban Aksial (N)	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3		
1	295	150	150	26,12	27,89	26,26	0,47286	0,51797	0,47631	0,48905	6,20534
2	295	150	200	28,15	29,03	28,27	0,52474	0,54710	0,52768	0,53317	5,46112
3	295	150	250	31,77	32,77	32,15	0,61725	0,64281	0,62696	0,62901	4,02567
4	295	200	150	29,60	30,03	29,90	0,56167	0,57279	0,56946	0,56797	4,91317
5	295	200	200	30,12	31,19	31,69	0,57509	0,60243	0,61521	0,59757	4,46876
6	295	200	250	32,37	33,05	33,06	0,63259	0,64996	0,65022	0,64426	3,81812
7	295	250	150	32,29	33,72	32,29	0,63041	0,66709	0,63054	0,64268	3,83698
8	295	250	200	34,29	34,04	33,89	0,68165	0,67526	0,67143	0,67611	3,39942
9	295	250	250	34,74	35,12	35,18	0,69302	0,70286	0,70440	0,70009	3,09664
10	310	150	150	23,18	24,87	24,23	0,40595	0,44914	0,43278	0,42929	7,33751
11	310	150	200	26,51	26,36	25,97	0,49105	0,48722	0,47725	0,48517	6,28146
12	310	150	250	29,48	30,05	29,97	0,56695	0,58152	0,57947	0,57598	4,79131
13	310	200	150	27,97	27,13	27,43	0,52836	0,50689	0,51456	0,51661	5,73553
14	310	200	200	28,67	29,13	28,90	0,54625	0,55801	0,55213	0,55213	5,15888
15	310	200	250	30,85	31,57	31,23	0,60196	0,62036	0,61167	0,61133	4,27381
16	310	250	150	31,52	30,12	30,83	0,61908	0,58331	0,60145	0,60128	4,41591
17	310	250	200	32,48	31,56	31,88	0,64362	0,62011	0,62828	0,63067	4,00294
18	310	250	250	33,11	32,67	33,28	0,65972	0,64847	0,66406	0,65742	3,64275
19	325	150	150	22,71	20,41	22,91	0,39879	0,33989	0,40391	0,38086	8,35944
20	325	150	200	24,19	24,35	23,71	0,43662	0,44071	0,42435	0,43389	7,25128
21	325	150	250	27,12	27,13	28,05	0,51149	0,51175	0,53526	0,51950	5,68626
22	325	200	150	25,83	25,53	26,15	0,47853	0,47086	0,48671	0,47870	6,39797
23	325	200	200	26,98	27,24	26,97	0,50792	0,51456	0,50766	0,51005	5,84764
24	325	200	250	29,38	29,53	28,78	0,56925	0,57308	0,55392	0,56542	4,95170
25	325	250	150	28,56	29,84	29,32	0,54829	0,58101	0,56772	0,56567	4,94625
26	325	250	200	29,87	30,47	30,62	0,58177	0,59711	0,60094	0,59327	4,53407
27	325	250	250	31,19	30,87	31,14	0,61551	0,60733	0,61423	0,61235	4,25980



**LAMPIRAN C.1 ANALISIS VARIAN UNTUK BANTALAN 6002****Linear Model Analysis: SN ratios versus KP, BR, BA**

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7.32128	0.1159	63.178	0.000
KP 295	-0.63029	0.1639	-3.846	0.001
KP 310	-0.29762	0.1639	-1.816	0.084
BR 150	1.96639	0.1639	11.999	0.000
BR 200	-0.38825	0.1639	-2.369	0.028
BA 150	1.28990	0.1639	7.871	0.000
BA 200	-0.09326	0.1639	-0.569	0.576

S = 0.6021 R-Sq = 93.2% R-Sq(adj) = 91.1%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
KP	2	12.122	12.122	6.0608	16.72	0.000
BR	2	58.571	58.571	29.2856	80.77	0.000
BA	2	27.941	27.941	13.9703	38.53	0.000
Residual Error	20	7.252	7.252	0.3626		
Total	26	105.885				

Unusual Observations for SN ratios

Observation	SN ratios	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	12.676	11.505	0.307	1.170	2.26 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

**Linear Model Analysis: Means versus KP, BR, BA**

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.440991	0.003565	123.688	0.000
KP 295	0.030026	0.005042	5.955	0.000
KP 310	0.013003	0.005042	2.579	0.018
BR 150	-0.089844	0.005042	-17.818	0.000
BR 200	0.011375	0.005042	2.256	0.035
BA 150	-0.058311	0.005042	-11.565	0.000
BA 200	0.000084	0.005042	0.017	0.987

S = 0.01853 R-Sq = 96.9% R-Sq(adj) = 96.0%

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
KP	2	0.026300	0.026300	0.013150	38.31	0.000
BR	2	0.129227	0.129227	0.064613	188.26	0.000
BA	2	0.061115	0.061115	0.030558	89.03	0.000
Residual Error	20	0.006864	0.006864	0.000343		
Total	26	0.223506				

Response Table for Signal to Noise Ratios  
Smaller is better

Level	KP	BR	BA
1	6.691	9.288	8.611
2	7.024	6.933	7.228
3	8.249	5.743	6.125
Delta	1.558	3.545	2.487
Rank	3	1	2

Response Table for Means

Level	KP	BR	BA
1	0.4710	0.3511	0.3827
2	0.4540	0.4524	0.4411
3	0.3980	0.5195	0.4992
Delta	0.0731	0.1683	0.1165
Rank	3	1	2

**Main Effects Plot for Means**

**Main Effects Plot for SN ratios**

---

8/6/2017 9:00:23 PM

---

Welcome to Minitab, press F1 for help.  
Retrieving project from file: 'E:\TO BE S.T\SKRIPSI\SEMHAS\MINITAB  
(FIX)\6002.MPJ'

**LAMPIRAN C.2 ANALISIS VARIAN UNTUK BANTALAN 6202****Linear Model Analysis: SN ratios versus KP, BR, BA**

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.6175	0.1236	53.541	0.000
KP 295	-0.9507	0.1748	-5.439	0.000
KP 310	-0.1147	0.1748	-0.656	0.519
BR 150	1.7068	0.1748	9.765	0.000
BR 200	0.2800	0.1748	1.602	0.125
BA 150	1.0912	0.1748	6.243	0.000
BA 200	0.3689	0.1748	2.111	0.048

S = 0.6422 R-Sq = 93.1% R-Sq(adj) = 91.1%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
KP	2	18.470	18.470	9.2351	22.39	0.000
BR	2	62.451	62.451	31.2256	75.71	0.000
BA	2	31.130	31.130	15.5652	37.74	0.000
Residual Error	20	8.249	8.249	0.4125		
Total	26	120.301				

Unusual Observations for SN ratios

Observation	SN ratios	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	3.519	2.220	0.327	1.299	2.35 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

**Linear Model Analysis: Means versus KP, BR, BA**

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.480209	0.004924	97.531	0.000
KP 295	0.048918	0.006963	7.025	0.000
KP 310	0.004125	0.006963	0.592	0.560
BR 150	-0.089044	0.006963	-12.788	0.000
BR 200	-0.019717	0.006963	-2.832	0.010
BA 150	-0.055954	0.006963	-8.036	0.000
BA 200	-0.021128	0.006963	-3.034	0.007

S = 0.02558 R-Sq = 96.0% R-Sq(adj) = 94.8%

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
KP	2	0.04701	0.04701	0.023506	35.91	0.000
BR	2	0.18132	0.18132	0.090659	138.51	0.000
BA	2	0.08567	0.08567	0.042835	65.44	0.000
Residual Error	20	0.01309	0.01309	0.000655		
Total	26	0.32709				



## Unusual Observations for Means

Observation	Means	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	0.667	0.715	0.013	-0.048	-2.18 R
18	0.624	0.670	0.013	-0.046	-2.11 R

Response Table for Signal to Noise Ratios  
Smaller is better

Level	KP	BR	BA
1	5.667	8.324	7.709
2	6.503	6.897	6.986
3	7.683	4.631	5.157
Delta	2.016	3.694	2.551
Rank	3	1	2

## Response Table for Means

Level	KP	BR	BA
1	0.5291	0.3912	0.4243
2	0.4843	0.4605	0.4591
3	0.4272	0.5890	0.5573
Delta	0.1020	0.1978	0.1330
Rank	3	1	2

**Main Effects Plot for Means****Main Effects Plot for SN ratios**


---

**8/6/2017 9:01:59 PM**

---

Welcome to Minitab, press F1 for help.  
Retrieving project from file: 'E:\TO BE S.T\SKRIPSI\SEMHAS\MINITAB  
(FIX)\6202.MPJ'

**LAMPIRAN C.3 ANALISIS VARIAN UNTUK BANTALAN 6302****Linear Model Analysis: SN ratios versus KP, BR, BA**

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5.08024	0.07475	67.964	0.000
KP 295	-0.71986	0.10571	-6.810	0.000
KP 310	-0.00746	0.10571	-0.071	0.944
BR 150	1.08050	0.10571	10.221	0.000
BR 200	-0.01645	0.10571	-0.156	0.878
BA 150	0.71963	0.10571	6.808	0.000
BA 200	0.07695	0.10571	0.728	0.475

S = 0.3884 R-Sq = 93.1% R-Sq(adj) = 91.0%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
KP	2	9.425	9.425	4.7126	31.24	0.000
BR	2	20.699	20.699	10.3497	68.60	0.000
BA	2	10.425	10.425	5.2125	34.55	0.000
Residual Error	20	3.017	3.017	0.1509		
Total	26	43.567				

Unusual Observations for SN ratios

Observation	SN ratios	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	8.385	7.608	0.198	0.777	2.32 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

**Linear Model Analysis: Means versus KP, BR, BA**

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.562945	0.003654	154.069	0.000
KP 295	0.045935	0.005167	8.890	0.000
KP 310	-0.000737	0.005167	-0.143	0.888
BR 150	-0.065619	0.005167	-12.699	0.000
BR 200	-0.002497	0.005167	-0.483	0.634
BA 150	-0.043821	0.005167	-8.481	0.000
BA 200	-0.006051	0.005167	-1.171	0.255

S = 0.01899 R-Sq = 95.6% R-Sq(adj) = 94.3%

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
KP	2	0.037382	0.037382	0.018691	51.85	0.000
BR	2	0.080568	0.080568	0.040284	111.76	0.000
BA	2	0.039998	0.039998	0.019999	55.48	0.000
Residual Error	20	0.007209	0.007209	0.000360		
Total	26	0.165157				

## Unusual Observations for Means

Observation	Means	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
3	0.629	0.593	0.010	0.036	2.20 R

Response Table for Signal to Noise Ratios  
Smaller is better

Level	KP	BR	BA
1	4.360	6.161	5.800
2	5.073	5.064	5.157
3	5.808	4.016	4.284
Delta	1.447	2.145	1.516
Rank	3	1	2

## Response Table for Means

Level	KP	BR	BA
1	0.6089	0.4973	0.5191
2	0.5622	0.5604	0.5569
3	0.5177	0.6311	0.6128
Delta	0.0911	0.1337	0.0937
Rank	3	1	2

**Main Effects Plot for Means****Main Effects Plot for SN ratios**


---

8/6/2017 9:07:27 PM

---

Welcome to Minitab, press F1 for help.  
Retrieving project from file: 'E:\TO BE S.T\SKRIPSI\SEMHAS\MINITAB  
(FIX)\6302.MPJ'

LAMPIRAN D.1 TABEL DISTRIBUSI F DENGAN  $\alpha = 5\%$

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilitas = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

**LAMPIRAN E. FOTO KEGIATAN PEMBUATAN ALAT UJI**



Proses pemotongan material



Proses pembuatan alat uji

**LAMPIRAN F. FOTO KEGIATAN PENELITIAN**



Kalibrasi beban radial menggunakan multimeter sebelum pengujian



Pemasangan bantalan pada alat uji



Pengukuran gaya rugi bantalan tanpa beban



Pengukuran kecepatan putar bantalan



Pengukuran beban radial bantalan menggunakan *load cell* 50kg



Pengukuran beban aksial bantalan dengan timbangan gantung *load cell*





Alat uji *rolling resistance* bantalan



Alat uji *rolling resistance* bantalan