



**ANALISIS KUALITAS PRODUK *SINGLE ROW DEEP ROOVE*  
*BALL BEARING* TERHADAP *ROLLING RESISTANCE*  
PADA MOBIL LISTRIK TITEN *PROTOTYPE***

**SKRIPSI**

Oleh

**Achmad Fitoyo**

**NIM 131910101057**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2017**



**ANALISIS KUALITAS PRODUK *SINGLE ROW DEEP ROOVE*  
*BALL BEARING* TERHADAP *ROLLING RESISTANCE*  
PADA MOBIL LISTRIK TITEN *PROTOTYPE***

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Achmad Fitoyo**

**NIM 131910101057**

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

**2017**

## PERSEMBAHAN

Dengan ini saya persembahkan skripsi kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Kedua orang tua tercinta, Bapak Achmad Romli dan Ibu Malikhah serta kakak-kakaku Imam Muhroni, Musofa, Ratna Handayani, Ratna Hastuti, Siti Herlina, dan dek Dewi Anggraeni yang selalu memberikan dorongan moral, materil maupun spiritual serta atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai dalam menyelesaikan gelar S1.
3. Guru – guru mulai dari SD Negeri Talun 2, SMPN 1 Talun, SMK Negeri 1 Kota Blitar dan dosen-dosen Teknik Mesin Universitas Jember. Terima kasih untuk ilmu dan pengalaman yang telah diajarkan selama ini.
4. Tim Riset mobil listrik Universitas Jember yang menjadi salah satu tema pembahasan skripsi.
5. Penguni kontrakan POJOK, yang selalu membantu dan menyemangati dari awal masuk kuliah hingga mendapatkan gelar S1.
6. Rekan-rekan satu DPU dan DPA yang selalu menemani saya berjuang mulai awal pengerjaan skripsi hingga selesai.
7. Keluarga Mahasiswa Teknik Mesin 2013 yang selalu membantu, menyemangati dan selalu mendampingi saya selama pengerjaan skripsi ini.
8. Almamater Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

### MOTTO

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

Perbedaan antara orang sukses dan orang gagal bukan terletak pada kemampuan ataupun ide-ide yang lebih baik, tetapi pada keberanian mempertaruhkan idenya, untuk mengambil resiko yang diperhitungkan dan untuk bertindak  
(Maxwell Maltz)

*“If you don’t stand for anything you will fall for nothing”*  
(Michael Riffaterre)

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Achmad Fitoyo

NIM : 131910101057

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”Analisis Kualitas Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* terhadap *Rolling Resistance* pada Mobil Listrik Titen *Prototype*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 29 September 2017

Yang menyatakan,

Achmad Fitoyo

NIM 131910101057

**SKRIPSI**

**ANALISIS KUALITAS PRODUK *SINGLE ROW DEEP ROOVE*  
*BALL BEARING* TERHADAP *ROLLING RESISTANCE*  
PADA MOBIL LISTRIK TITEN *PROTOTYPE***

Oleh

Achmad Fitoyo

NIM 131910101057

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul ”Analisis Kualitas Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* Terhadap *Rolling Resistance* Pada Mobil Listrik Titen *Prototype*” karya Achmad

Fitoyo telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : 29 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. Digdo Listyadi S., M.Sc  
NIP 19680617 199501 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Dwi Djumhariyanto M.T.  
NIP 19600812 199802 1 001

Imam Sholahuddin, S.T., M.T  
NIP 19811029 200812 1 003

Mengesahkan  
Dekan,

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

## RINGKASAN

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

Achmad Fitoyo, 131910101057; 2017; 81 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Mobil hemat energi merupakan suatu mobil yang di desain khusus supaya menghasilkan tingkat efisiensi tinggi. Mobil itu diharapkan dapat mengkonsumsi bahan bakar sedikit mungkin, tetapi bisa melakukan perjalanan yang cukup jauh, sehingga mampu mengurangi penggunaan dari bahan bakar. Faktor-faktor penting untuk meningkatkan kinerja dari suatu kendaraan yaitu massa, hambatan aerodinamis dan *rolling resistance*.

Permasalahan mobil listrik pada saat ini yaitu memiliki banyak faktor yang mempengaruhi *rolling resistance*, salah satunya bantalan bola alur dalam baris tunggal. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan bantalan gelinding dengan menggunakan metode respon permukaan sehingga sesuai dengan kebutuhan tipe *prototype* mobil listrik. Tipe *prototype* mobil adalah mobil yang di desain khusus berbentuk bodi pesawat, dengan memakai 2 roda depan dan 1 roda belakang, sehingga dapat meminimalis gaya hambat pada aliran udara.

*Bearing* atau bantalan adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada mesin atau komponen-komponen yang bergerak dan saling menekan satu dengan lainnya. Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan memberikan umur yang panjang. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja secara semestinya. *Rolling Resistance* adalah tahanan terhadap benda yang berputar akibat adanya gaya gesekan. Pada dasarnya,



*rolling resistance* adalah momen benda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan suatu benda.

Metode respon permukaan adalah kumpulan metode statistik dan matematika yang berguna untuk masalah pemodelan dan teknik analisis. Dalam metode ini, tujuan utama adalah untuk mengoptimalkan respon yang dipengaruhi oleh berbagai parameter proses. Metode respon permukaan juga mengkuantifikasi hubungan antara parameter input terkendali dan respon yang diperoleh

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

Hasil pengujian *rolling resistance* dari ketiga jenis *bearing*, dianalisis dengan menggunakan metode statistik didapatkan nilai yang optimum dengan mengatur kecepatan putar *bearing* pada 549,1717 rpm, beban radial sebesar 145 N dan beban aksial sebesar 130 N, diperoleh gaya *rolling resistance* pada *bearing* 628 sebesar 0,1148 N, pada *bearing* 6200 sebesar 0,1220 N dan pada *bearing* 6201 sebesar 0,2511 N.

**SUMMARY**

***THE QUALITY ANALYSIS OF SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING PRODUK TO ROLLING RESISTANCE" ON TITEN PROTOTYPE ELECTRIC CAR***

*Achmad Fitoyo, 131910101057; 2017; 81 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.*

*Energy efficient cars is a car specially designed in order to produce high levels of efficiency. The car is expected to consume little fuel as possible, but can travel far enough, so as to reduce the use of fuel. Important factors to improve the performance of a vehicle is the mass, aerodynamic drag and rolling resistance.*

*The problem of electric cars at this time has many factors that affect rolling resistance, one of them is single row deep groove ball bearings. In this study aims to optimize the use of rolling bearings using response surface method to fit the needs of the type of prototype electric car. Type prototype car is a car specially designed shape of the fuselage, using two front wheels and one rear wheel, so as to minimize drag on the airflow.*

*Bearing is a component which serves to reduce friction in the engine or components that move and press against each other with each other. Bearings are elements pivot rivet machine load, thus alternating rotation or movement can take place behind a smooth, safe, and provide long life. Bearings should be sturdy enough to allow the shaft as well as other machine elements work well. If the pads are not functioning properly then the achievements of the entire system will decrease or be unable to work properly. Rolling resistance is the resistance to objects that rotates due to friction. Basically, the rolling resistance is the moment of the object against the direction of motion, equivalent to the force required to move an object.*

*Response surface methodology is a collection of statistical and mathematical methods are useful for problem modeling and analysis techniques. In this method, the main goal is to optimize the response is influenced by a variety of*

*process parameters. Response surface methodology also quantifies the relationship between the input parameters of control and response obtained*

*by the analysis of data processing using the software Minitab 16, it was found that the value of the force of rolling resistance will increase with increasing force and of the area of contact on a ball bearing, and the bearing will suffer losses when getting rotation is too high. Bearing 6200 and 6201 all of the predictor variables have a greater influence on rolling resistance force. Bearing 628 to variable speed rotating bearing has a very small effect. In the analysis that has been done can be seen that the individual variables that most influence on the process of force rolling resistance is the radial load.*

*The results of testing rolling resistance of all three types of bearings, analyzed using statistical methods that optimum values obtained by adjusting the rotational speed of bearing at 549,1717 rpm, load of 145 N radial and axial load of 130 N, obtained force rolling resistance in the bearing 628 at 0,1148 N, in bearing 6200 amounted to 0,1220 N and the bearing 6201 amounted to 0,2511 N.*

## PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Kualitas Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* terhadap *Rolling Resistance* pada Mobil Listrik Titen *Prototype*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Dalam melaksanakan skripsi dan penyusunan laporan ini, penulis banyak mendapat bantuan dan dukungan baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ibu Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak M. Fahrur Rozy H., S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T., selaku dosen penguji utama dan Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T., dan Bapak Muammar Khadafi S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing dan menanamkan rasa disiplin dan tanggung jawab dengan apa yang dilakukan selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Bapak Salahudin Junus, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif.
6. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin yang telah memberi dorongan semangat dan wawasan selama penulis menjadi mahasiswa.

7. Bapak Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing mobil listrik Universitas Jember, yang telah memberikan ilmu tanpa batas, serta pencerahan dan wawasan tentang dunia *Engineer* sebenarnya, serta dorongan untuk membangun pola berfikir yang tinggi.
8. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T., Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng., Ibu Rika Dwi Hidayatul Qoryah, S.T., M.T., dan Bapak Deni Yudas, yang membimbing serta memberi dorongan demi kelancaran praktikum untuk mahasiswa Teknik Mesin Universitas Jember.
9. Kedua orang tua tercinta, Bapak Achmad Romli dan Ibu Malikah serta kakak-kakaku Imam Muhroni, Musofa, Ratna Handayani, Ratna Hastuti, Siti Herlina, dan dek Dewi Anggraeni yang selalu memberikan dorongan moral, materil maupun spiritual serta atas kasih sayang, pengorbanan, dan kesabaran yang tiada tara serta doa yang selalu menyertai dalam menyelesaikan gelar S1.
10. Teman-teman kontrakan POJOK Heri Santoso, Teo Aska Prabawa, Mohamad Choirul Anwar, Ahmad Iqbal Nasrudin, Budi Santoso, Andika Wahyu P, Muhamad Faisal Ali dan M. Nuri Bachrudin yang selama 4 tahun telah saling membantu satu sama lain.
11. Teman-teman Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2013 yang selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.
12. Teman-teman dari mobil listrik Universitas Jember yang telah memberikan pengalaman manis dan pahitnya di dunia riset serta pengembangan teknologi yang tidak ada habisnya.
13. Teman-teman dari *aeromodelling* Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan wawasan tentang dunia teknologi robot terbang.
14. Teman-teman dan kakak-kakak yang telah membantu kelancaran atas mendirikan klub *Mechanical Engineering Software*, serta adik-adik yang melanjutkan perjuangan dari kami untuk tetap semangat membangun serta membawa nama baik Teknik Mesin Universitas Jember.
15. Rekan satu penelitian Singgih Kurniawan, Aditya Krisna H, Ilham Habibi, Ahmad Sofyan, Bayu Setya Pambudi, Riski Suryadi, Silvia Gilang S, Fajrul

Falah, yang menjadi partner dalam mengerjakan alat penelitian, sumbangan pemikiran dan kelancaran dalam mengerjakan skripsi.

16. Saudara-saudara KEMAPATA yang selalu memberi motivasi serta dukungan penuh dalam menjalankan studi hingga mendapatkan gelar S1.
17. Keluarga kelompok KKN 111 Anggi Permata, Ulin Nuha Jazmin, Desy Chardila Sari, Vita Okta Fatmawati, Pigy Sukma Amanda, Ulfiatul Khomariah, Ferdi Saputra Rahma Wijaya, Ahmad Karimullah dan Firdaus Hidayatul Iman yang telah memberikan pengalaman, dukungan, dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
18. Serta seluruh pihak yang telah membantu dalam mengerjakan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan tambahan pengetahuan bagi pembaca.

Jember, 29 September 2016

Penulis

DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL .....  | i         |
| HALAMAN PERSEMBAHAN .....  | ii        |
| HALAMAN MOTTO .....  | iii       |
| HALAMAN PERNYATAAN.....  | iv        |
| HALAMAN PEMBIMBING .....   | v         |
| HALAMAN PENGESAHAN.....  | vi        |
| RINGKASAN .....  | vii       |
| SUMMARY .....  | ix        |
| PRAKATA.....   | xi        |
| DAFTAR ISI.....  | xiv       |
| DAFTAR GAMBAR.....   | xvii      |
| DAFTAR TABEL .....   | xx        |
| DAFTAR DIAGRAM.....  | xxi       |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Latar Belakang.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>                                       | <b>3</b>  |
| <b>1.3 Batasan Masalah .....</b>                                       | <b>4</b>  |
| <b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>                                      | <b>4</b>  |
| <b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                    | <b>6</b>  |
| <b>2.1 Pengertian <i>Bearing</i>.....</b>                              | <b>6</b>  |
| 2.1.1 Klasifikasi <i>Bearing</i> .....                                 | 6         |
| 2.1.2 Perbandingan Antara Bantalan Luncur dan Bantalan Gelinding ..... | 8         |
| 2.1.3 <i>Single Row Deep Groove Ball Bearing</i> .....                 | 11        |
| 2.1.4 Kode Spesifikasi Bantalan Gelinding .....                        | 11        |
| 2.1.5 Kapasitas Nominal Bantalan Gelinding .....                       | 15        |
| 2.1.6 Perhitungan Beban yang Terjadi pada Bantalan Gelinding .....     | 17        |
| <b>2.2 Rolling Resistance .....</b>                                    | <b>19</b> |
| 2.2.1 <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing</i> .....              | 19        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.2 Standar Pengujian <i>Bearing</i> .....                                       | 21        |
| 2.2.3 Pengujian <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing</i> .....                | 22        |
| <b>2.3 Mobil Listrik.....</b>  | <b>25</b> |
| 2.3.1 Regulasi.....  | 26        |
| 2.3.2 Spesifikasi Mobil Listrik.....   | 27        |
| <b>2.4 Desain Eksperimen Menggunakan <i>Response Surface Methodology</i> .....</b> | <b>27</b> |
| 2.4.1 Metode Respon Permukaan .....  | 29        |
| 2.4.2 Pemeriksaan Asumsi Klasik .....  | 31        |
| 2.4.3 Pengujian Kesesuaian Model .....   | 32        |
| <b>2.5 Optimasi Respon .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>2.6 Hipotesis.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>BAB 3. METODOLOGI PROSES PRODUKSI .....</b>                                     | <b>35</b> |
| <b>3.1 Waktu dan Tempat .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>3.2 Alat dan Bahan.....</b>   | <b>35</b> |
| 3.2.1 Alat .....   | 35        |
| 3.2.2 Bahan .....  | 39        |
| <b>3.3 Tahap Identifikasi Masalah .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>3.4 Tahap Pengumpulan Data .....</b>  | <b>44</b> |
| <b>3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan .....</b>  | <b>46</b> |
| <b>3.6 Diagram Alir Penelitian .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>4.1 Pengolahan Data <i>Rolling Resistance</i> pada Respon Permukaan .....</b>   | <b>48</b> |
| 4.1.1 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t0}$ ) pada Bearing 628 .....     | 48        |
| 4.1.2 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t0}$ ) pada Bearing 6200 .....    | 48        |
| 4.1.3 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t0}$ ) pada Bearing 6201 .....    | 49        |
| 4.1.4 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t1}$ ) pada Bearing 628 .....     | 49        |
| 4.1.5 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t1}$ ) pada Bearing 6200 .....    | 50        |
| 4.1.6 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t1}$ ) pada Bearing 6201 .....    | 50        |
| <b>4.2 Perhitungan Untuk Gaya <i>Rolling Resistance</i>.....</b>                   | <b>51</b> |
| 4.2.1 Perhitungan Gaya Parasitif ( $F_{pf}$ ) pada Bearing 628 .....               | 52        |
| 4.2.2 Perhitungan Gaya <i>Rolling Resistance</i> ( $F_r$ ) pada Bearing 628.....   | 52        |



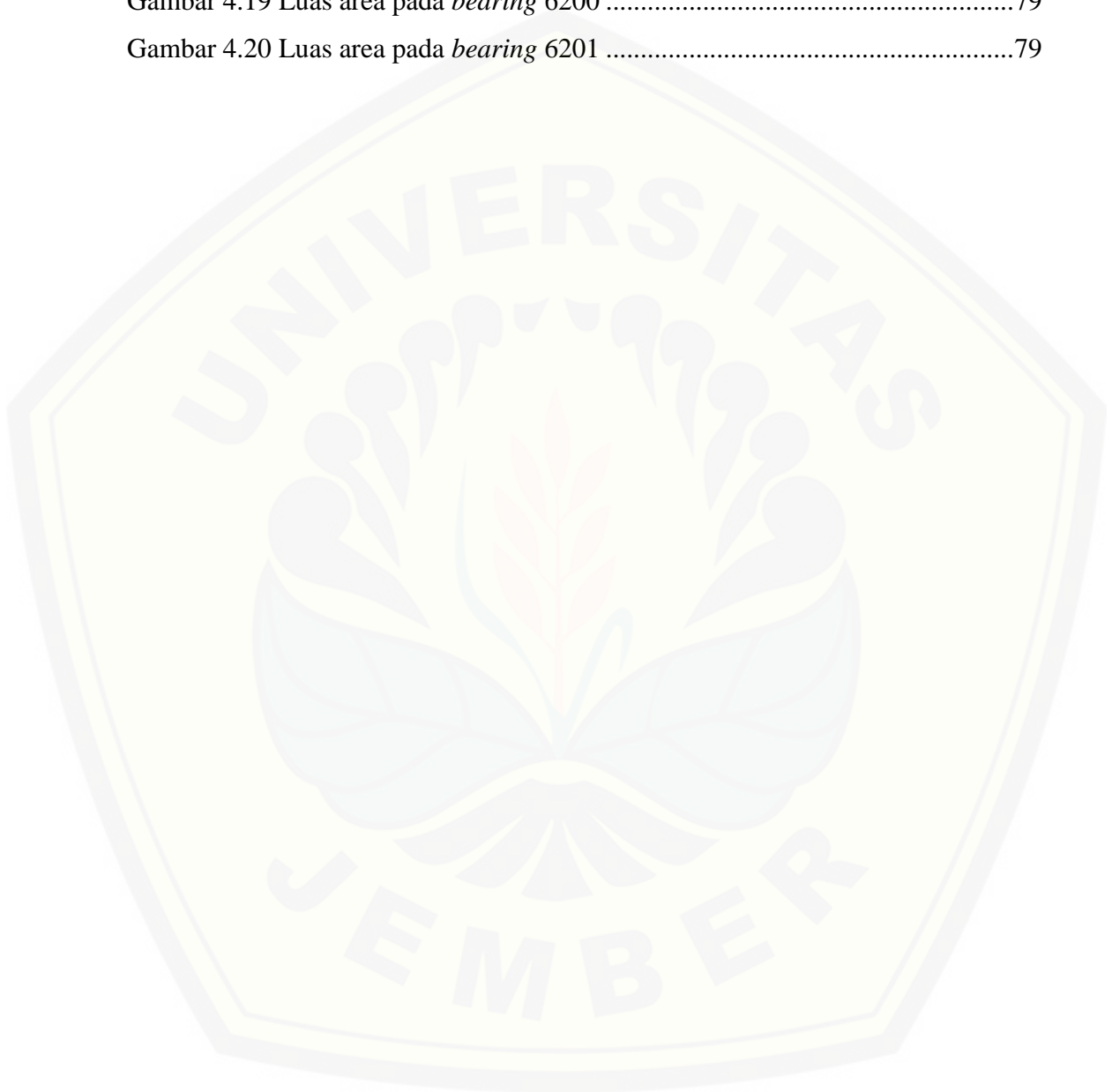
|  |           |
|--|-----------|
| 4.3 Analisis Data Gaya <i>Rolling Resistance</i> .....                             | 53        |
| 4.3.1 Pembentukan dan Analisis <i>Output Model</i> untuk <i>bearing 628</i> .....  | 54        |
| 4.3.2 Pembentukan dan Analisis <i>Output Model</i> untuk <i>bearing 6200</i> ..... | 59        |
| 4.3.3 Pembentukan dan Analisis <i>Output Model</i> untuk <i>bearing 6201</i> ..... | 66        |
| 4.4 Optimasi Respon .....  | 72        |
| 4.5 Perbandingan Hasil Standar dengan Hasil Penelitian terhadap Efisienfi.....     | 74        |
| 4.6 Pembahasan Analisis Gaya <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing</i> .....   | 76        |
| <b>BAB 5. PENUTUP</b> .....  | <b>80</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....   | 80        |
| 5.2 Saran .....  | 80        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>  |           |
| <b>LAMPIRAN</b>  |           |

DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Klasifikasi bantalan berdasarkan gerakan .....                                    | 7  |
| Gambar 2.2 Bantalan mampu beban radial .....   | 7  |
| Gambar 2.3 Bantalan mampu beban aksial.....  | 7  |
| Gambar 2.4 Bantalan mampu beban aksial dan radial.....                                       | 8  |
| Gambar 2.5 Macam-macam bantalan luncur .....   | 9  |
| Gambar 2.6 Klasifikasi <i>rolling bearing</i> .....  | 10 |
| Gambar 2.7 <i>Rolling Contact Bearing</i> .....  | 11 |
| Gambar 2.8 Lambang dan pemberian kode pada bantalan .....                                    | 12 |
| Gambar 2.9 Nomor seri untuk jenis bantalan .....   | 13 |
| Gambar 2.10 Jenis seal pada bearing .....  | 14 |
| Gambar 2.11 Kemampuan bantalan menahan beban.....  | 16 |
| Gambar 2.12 Skema beban radial pada mobil <i>prototype</i> .....                             | 17 |
| Gambar 2.13 Skema beban aksial pada mobil <i>prototype</i> .....                             | 17 |
| Gambar 2.14 Free body diagram gaya sentrifugal.....  | 18 |
| Gambar 2.15 Fenomena <i>rolling resistance</i> .....   | 19 |
| Gambar 2.16 Free body diagram rolling resistace pada gaya tangensial.....                    | 20 |
| Gambar 2.17 Pengujian bantalan .....   | 21 |
| Gambar 2.18 Pengujian Rolling Resistance menggunakan Drum Standar ISO<br>8767 dan 9948 ..... | 23 |
| Gambar 2.19 Free body diagram pengujian <i>rolling resistance</i> pada <i>bearing</i> .....  | 24 |
| Gambar 2.20 Kontes mobil hemat energi SEM .....  | 25 |
| Gambar 2.21 Mobil listrik Titen <i>prototype</i> Universitas Jember .....                    | 26 |
| Gambar 2.22 Kurva untuk grafik linier dan kuadrat .....                                      | 30 |
| Gambar 3.1 Alat Uji <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing</i> .....                      | 35 |
| Gambar 3.2 Motor DC .....  | 36 |
| Gambar 3.3 <i>Load cell</i> kapasitas 50 kg .....  | 37 |
| Gambar 3.4 Timbangan Gantung Digital 50 kg.....  | 37 |
| Gambar 3.5 Timbangan Emas.....   | 38 |
| Gambar 3.6 <i>Tachometer</i> .....   | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 3.7 Multimeter digital.....  | 39 |
| Gambar 3.8 <i>Deep groove ball bearing</i> .....  | 40 |
| Gambar 3.9 Representasi <i>Box-Behnken design BB3</i> .....   | 45 |
| Gambar 4.1 Grafik probabilitas normal residual untuk gaya <i>rolling resistance</i> ....  | 56 |
| Gambar 4.2 Plot residual dengan taksiran model dan Plot residual dengan order model.....  | 57 |
| Gambar 4.3 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap kecepatan putar <i>bearing</i> dan beban radial pada beban aksial 150 N .....    | 57 |
| Gambar 4.4 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap kecepatan putar <i>bearing</i> dan beban aksial pada beban radial 165 N .....    | 58 |
| Gambar 4.5 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap beban radial dan beban aksial pada kecepatan putar <i>bearing</i> 512 rpm .....  | 59 |
| Gambar 4.6 Grafik probabilitas normal residual untuk gaya <i>rolling resistance</i> ....  | 63 |
| Gambar 4.7 Plot residual dengan taksiran model dan Plot residual dengan order model.....  | 63 |
| Gambar 4.8 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap kecepatan putar <i>bearing</i> dan beban radial pada beban aksial 150 N .....    | 64 |
| Gambar 4.9 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap kecepatan putar <i>bearing</i> dan beban aksial pada beban radial 165 N .....    | 64 |
| Gambar 4.10 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap beban radial dan beban aksial pada kecepatan putar <i>bearing</i> 512 rpm ..... | 65 |
| Gambar 4.11 Grafik probabilitas normal residual untuk gaya <i>rolling resistance</i> ..   | 69 |
| Gambar 4.12 Plot residual dengan taksiran model dan Plot residual dengan order model.....   | 69 |
| Gambar 4.13 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap kecepatan putar <i>bearing</i> dan beban radial pada beban aksial 150 N .....   | 70 |
| Gambar 4.14 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap kecepatan putar <i>bearing</i> dan beban aksial pada beban radial 165 N .....   | 71 |
| Gambar 4.15 <i>surface plot</i> dan <i>Contour plot rolling resistance</i> terhadap beban radial dan beban aksial pada kecepatan putar <i>bearing</i> 512 rpm ..... | 71 |
| Gambar 4.16 Grafik kombinasi variabel-variabel prediktor yang menghasilkan..  | 73 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.17 luas area kontak pada beban radial, dan luas area kontak beban aksial ..... | 78 |
| Gambar 4.18 Luas area pada <i>bearing</i> 628 .....                                     | 79 |
| Gambar 4.19 Luas area pada <i>bearing</i> 6200 .....                                    | 79 |
| Gambar 4.20 Luas area pada <i>bearing</i> 6201 .....                                    | 79 |



**DAFTAR TABEL**

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1 Ilustrasi Rotating Inner Ring and Stationary Outer Ring.....                       | 23 |
| Tabel 2.2 Ilustrasi Rotating Outer Ring and Stationary Inner Ring.....                       | 24 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi <i>Deep Groove Ball Bearing</i> .....                                  | 39 |
| Tabel 3.2 Level yang digunakan .....   | 43 |
| Tabel 3.3 Rancangan Percobaan <i>Rolling Resistance</i> dengan <i>Box-Behnken</i> .....      | 45 |
| Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t0}$ ) pada Bearing 628 .....           | 48 |
| Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t0}$ ) pada Bearing 6200 .....          | 48 |
| Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t0}$ ) pada Bearing 6201 .....          | 49 |
| Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t1}$ ) pada Bearing 628 .....           | 49 |
| Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t1}$ ) pada Bearing 6200 .....          | 50 |
| Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Gaya Tangensial ( $F_{t1}$ ) pada Bearing 6201 .....          | 51 |
| Tabel 4.7 Data Hasil Perhitungan <i>Rolling Resistance</i> pada <i>bearing Type</i> 628..... | 53 |
| Tabel 4.8 Koefisien regresi <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing Type</i> 628.....      | 54 |
| Tabel 4.9 Data Hasil Perhitungan <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing Type</i> 6200 ... | 60 |
| Tabel 4.10 Koefisien regresi <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing Type</i> 6200.....    | 61 |
| Tabel 4.11 Data Hasil Perhitungan <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing Type</i> 6201 .  | 66 |
| Tabel 4.12 Koefisien regresi <i>Rolling Resistance</i> pada <i>Bearing Type</i> 6201 .....   | 67 |
| Tabel 4.13 Kombinasi Variabel Proses yang Menghasilkan Respon Optimum ....                   | 73 |
| Tabel 4.14 Perbandingan <i>Setting</i> Standar dengan <i>Setting</i> Hasil Penelitian .....  | 74 |

**DAFTAR DIAGRAM**

Diagram 2.1 Standar pengujian spesifikasi bantalan .....22  
Diagram 3.1 Diagram alir penelitian .....47



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Mobil hemat energi merupakan suatu mobil yang di desain khusus supaya menghasilkan tingkat efisiensi tinggi. Mobil itu diharapkan dapat mengkonsumsi bahan bakar sedikit mungkin, tetapi bisa melakukan perjalanan yang cukup jauh. Sehingga dengan menipisnya bahan bakar minyak, dengan mobil hemat energi ini mampu mengurangi penggunaan dari bahan bakar.

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

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

Untuk pemilihan bantalan di antara “pasan pres”, “pasan peralihan”, dan “pasan longgar” faktor-faktor yang harus diperiksa adalah, gaya-gaya yang bekerja pada bantalan, waktu operasi, cincin yang berputar (dalam atau luar), tinggi kenaikan temperatur, tebal dinding rumah bantalan dan macam cincin. (Sularso, 1997).

Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh N. Aslan, (2006), Metode Respon Permukaan (*Response Surface Methodology*) adalah metode statistik yang berguna untuk menduga pengaruh linear, kuadratik dan interaksi faktor antar variabel serta mengoptimalkan respon tersebut dengan menggunakan jumlah data percobaan yang minim. Metode respon permukaan merupakan metode rancangan percobaan yang dapat digunakan untuk pengembangan, peningkatan, dan pengoptimasian proses.

Dari paparan materi tersebut maka metode respon permukaan dapat digunakan untuk menganalisis permasalahan optimalisasi tentang beberapa variabel bebas yang mempengaruhi variabel respon yang bertujuan untuk mengoptimalkan suatu respon. Kelebihan dari metode respon permukaan adalah respon dapat diperluas dengan menentukan titik-titik penyebab respon optimum baru. Kasus pengoptimalan penggunaan kualitas bantalan gelinding adalah kasus yang cocok diselesaikan dengan menggunakan metode respon permukaan. Permasalahan yang akan dikaji adalah bagaimana pengaruh adanya gaya tangensial dan menentukan bantalan gelinding yang digunakan pada mobil listrik *prototype*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh I. M. Jamadar, (2015) menyatakan bahwa model analisis yang dikembangkan dalam penelitian “*Model Development for Investigation of Localized Defects in Taper Roller Bearings Using Matrix Method of Dimensional Analysis*” berdasarkan MMDA dimana telah memberikan pendekatan secara efisien dalam mengenali keadaan bantalan yang rusak sehingga dapat dengan mudah diimplementasikan dalam strategi pemeliharaan bantalan secara baik. Berdasarkan penelitian tersebut disimpulkan bahwa *metode response surface* dapat mengidentifikasi kerusakan struktural dalam bantalan. Dimana interaksi ukuran cacat dan ketidak seimbangan adalah faktor yang paling signifikan yang meningkatkan amplitudo getaran.



Menurut penelitian yang dilakukan oleh Meifal Rusli, (2015), dalam penelitian “Kaji Banding Prediksi Kerusakan Pada Bantalan Gelinding Melalui Sinyal Getaran Dan Sinyal Suara” Alat uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari enam komponen utama, yaitu motor, karet penyangga, kopling, rumah bantalan, poros, bantalan uji, dan landasan. Sebagai penghubung poros dengan poros dan poros dengan motor digunakan kopling. Kopling yang digunakan berbahan karet yang sangat fleksibel. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan pengaruh ketidak sesumbuan poros dan getaran motor terhadap sistem uji. Motor penggerak yang digunakan dalam pengujian ini adalah motor listrik AC. Motor ini memiliki daya 1/2 HP, voltase 220 V, dan ketika dilakukan pengujian asumsi putaran motor konstan 2982 rpm. Bantalan yang digunakan pada alat uji adalah ASB 6002 2RS (*single row deep groove ball bearing*) sebanyak tiga buah dan bantalan SKF 16002 (*single row deep groove ball bearing*) sebanyak satu buah.

Setelah mengamati dan mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya, maka dapat diketahui bahwa banyak sekali faktor yang mempengaruhi *rolling resistance*, sehingga perlu dicoba untuk mengangkat suatu penelitian bantalan bola alur dalam baris tunggal dengan menggunakan metode respon permukaan untuk mengoptimalkan penggunaan bantalan gelinding yang sesuai dengan kebutuhan mobil listrik *prototype*. Mobil tipe *prototype* yaitu mobil yang didesain khusus berbentuk bodi pesawat, dengan memakai 2 roda depan dan 1 roda belakang, sehingga dapat meminimalis gaya hambat pada aliran udara. Diharapkan penelitian skripsi dengan judul “Analisis Kualitas Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* terhadap *Rolling Resistance* pada Mobil Listrik Titen *Prototype*” dapat menjadi suatu kajian ataupun referensi untuk mengoptimalkan penggunaan bantalan bola yang sesuai dengan kebutuhan pada kompetisi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan di atas, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu bagaimana karakter dari kualitas produk *single row deep groove ball bearing* terhadap *rolling resistance* pada mobil listrik titen *prototype*. Dimana proses pengujian dilakukan

untuk mengetahui gaya *rolling* yang paling terkecil ketika dikenai gaya tangensial dan kecepatan putar pada bantalan. Adapun perumusannya yaitu:

- a. Bagaimana pengaruh adanya gaya tangensial, dan kecepatan putar pada bantalan terhadap *rolling resistance* untuk mendapatkan gaya *rolling* pada *single row deep groove ball bearing* sekecil mungkin.
- b. Bagaimana penggunaan metode *response surface* dalam mengoptimalkan bantalan terhadap *rolling resistance*

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk mengetahui dan memberikan gambaran mengenai masalah-masalah apa saja yang akan dibahas pada penelitian ini. Maka perlu diberikan batas pembahasan yang nantinya akan terfokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan pada masalah penelitian.

Adapun batasannya adalah sebagai berikut:

- a. Getaran, umur pemakaian, pelumasan, cacat produk, gaya gesek, serta biaya pemakaian bantalan diabaikan.
- b. Transmisi yang digunakan sebagai penyalur dari alat uji ke motor dianggap sempurna.
- c. Bahan *bearing* yang digunakan sebagai pengujian yaitu jenis logam
- d. Jenis bantalan yang digunakan yaitu *single row deep groove ball bearing*
- e. Suhu pada pengujian adalah suhu ruangan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

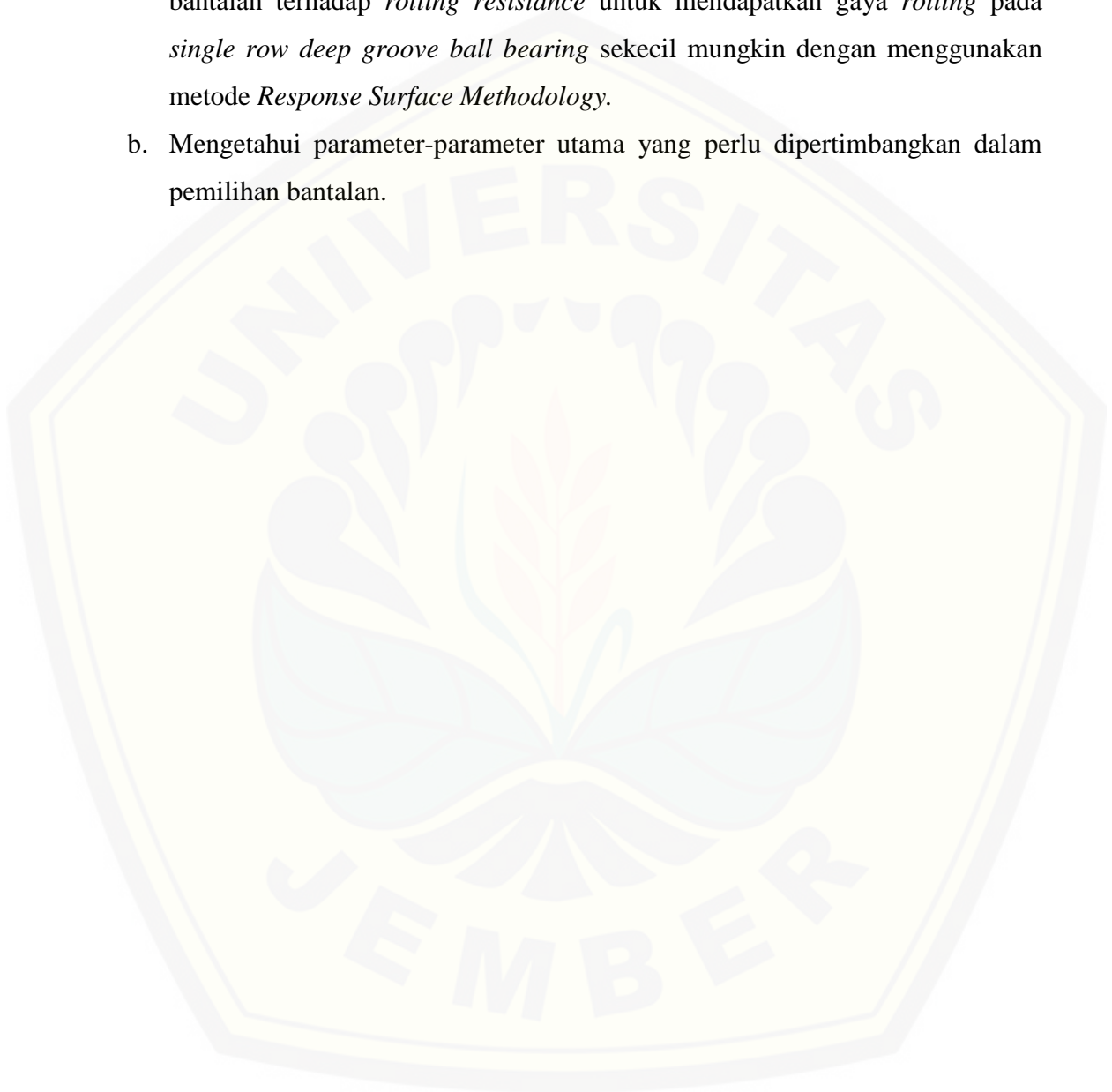
Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui pengaruh adanya gaya tangensial, dan kecepatan putar pada bantalan terhadap *rolling resistance* untuk mendapatkan gaya *rolling* pada *single row deep groove ball bearing* sekecil mungkin.
- b. Dapat menerapkan penggunaan metode *response surface* dalam mengoptimalkan bantalan terhadap *rolling resistance*

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui pengaruh adanya gaya tangensial, dan kecepatan putar pada bantalan terhadap *rolling resistance* untuk mendapatkan gaya *rolling* pada *single row deep groove ball bearing* sekecil mungkin dengan menggunakan metode *Response Surface Methodology*.
- b. Mengetahui parameter-parameter utama yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bantalan.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan penelitian ini, untuk memperkuat teori tentang “Analisis Kualitas Produk *Single Row Deep Groove Ball Bearing* Terhadap *Rolling Resistance* Pada Mobil Listrik Titen *Prototype*” maka diperlukan beberapa teori yang tepat, guna dalam penelitian tetap terarah pada tujuan penelitian. Sehingga hasil yang didapatkan bisa maksimal serta dapat diaplikasikan pada mobil listrik titen *prototype*. Landasan teori dalam penelitian ini sebagai berikut:

### 2.1 Pengertian *Bearing*

*Bearing* atau bantalan adalah komponen yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada mesin atau komponen-komponen yang bergerak dan saling menekan satu dengan yang lainnya. Bantalan yang menumpu pada poros berbeban, menghasilkan putaran atau gerakan bolak-baliknya berlangsung secara halus, aman, dan memberikan umur yang panjang. 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. (Ir. Sularso, 1997)

#### 2.1.1 Klasifikasi *Bearing*

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Ir. Sularso, 1997):

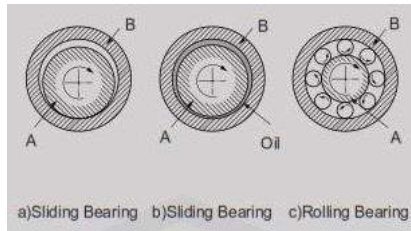
##### a. Atas Dasar Gerakan Bantalan Terhadap Poros

###### 1) Bantalan luncur.

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan lapisan pelumas.

###### 2) Bantalan gelinding

Pada bantalan ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atau rol jarum, dan rol bulat.

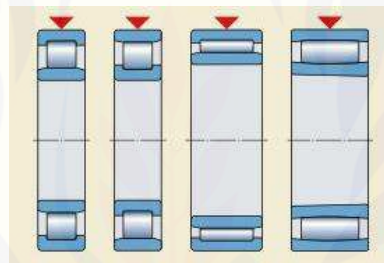


Gambar 2.1 Klasifikasi bantalan berdasarkan gerakan (Hanwa, 2001)

b. Atas Dasar Arah Beban Terhadap Poros

1. Bantalan radial

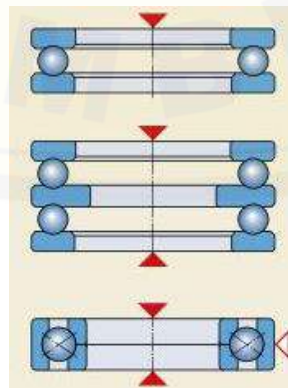
Beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros. Desain bantalan rol silinder, bantalan rol jarum dan bantalan rol hanya dapat mendukung beban radial murni. Semua bantalan radial lainnya dapat menampung beberapa beban aksial di samping beban radial.



Gambar 2.2 Bantalan mampu beban radial (Catalogue, 2013)

2. Bantalan aksial

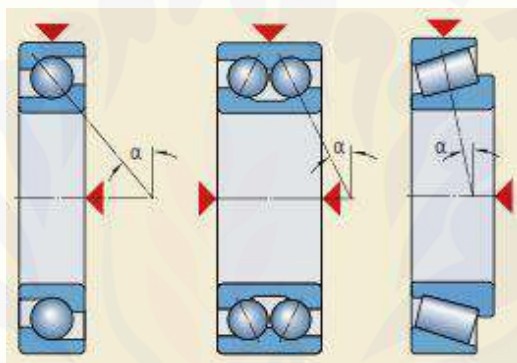
Beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros. Bantalan bola dan empat titik kontak bantalan bola cocok untuk beban ringan atau normal yang murni aksial. Satu arah dorong bantalan bola hanya bisa menampung beban aksial dalam satu arah. Untuk beban aksial di kedua arah, dua arah dorong bantalan bola diperlukan.



Gambar 2.3 Bantalan mampu beban aksial (Catalogue, 2013)

### 3. Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini mampu menumpu beban sejajar dan tegak lurus sumbu poros. Sebuah beban gabungan terdiri dari beban radial dan aksial secara bersamaan. Kemampuan bantalan untuk mengakomodasi beban aksial ditentukan oleh sudut kontak. Semakin besar sudut, semakin tinggi beban aksial daya dukung bantalan. Indikasi ini diberikan oleh faktor perhitungan  $Y$ , yang menjadi lebih kecil sebagai kontak sudut sebuah meningkat. Nilai-nilai dari sudut atau faktor  $Y$  tercantum dalam bab produk yang relevan. Kapasitas beban aksial membawa dari bantalan bola dalam alur tergantung pada desain internal dan *clearance* internal yang di operasionalkan untuk beban gabungan, baris tunggal dan ganda.

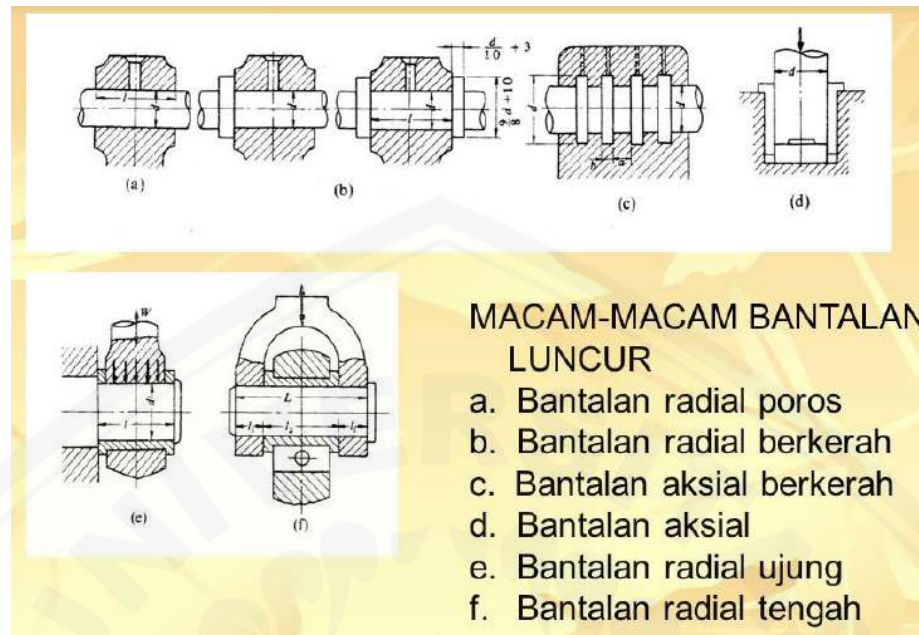


Gambar 2.4 Bantalan mampu beban aksial dan radial (Catalogue, 2013)

#### 2.1.2 Perbandingan Antara Bantalan Luncur Dan Bantalan Gelinding

##### a. Bantalan luncur

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



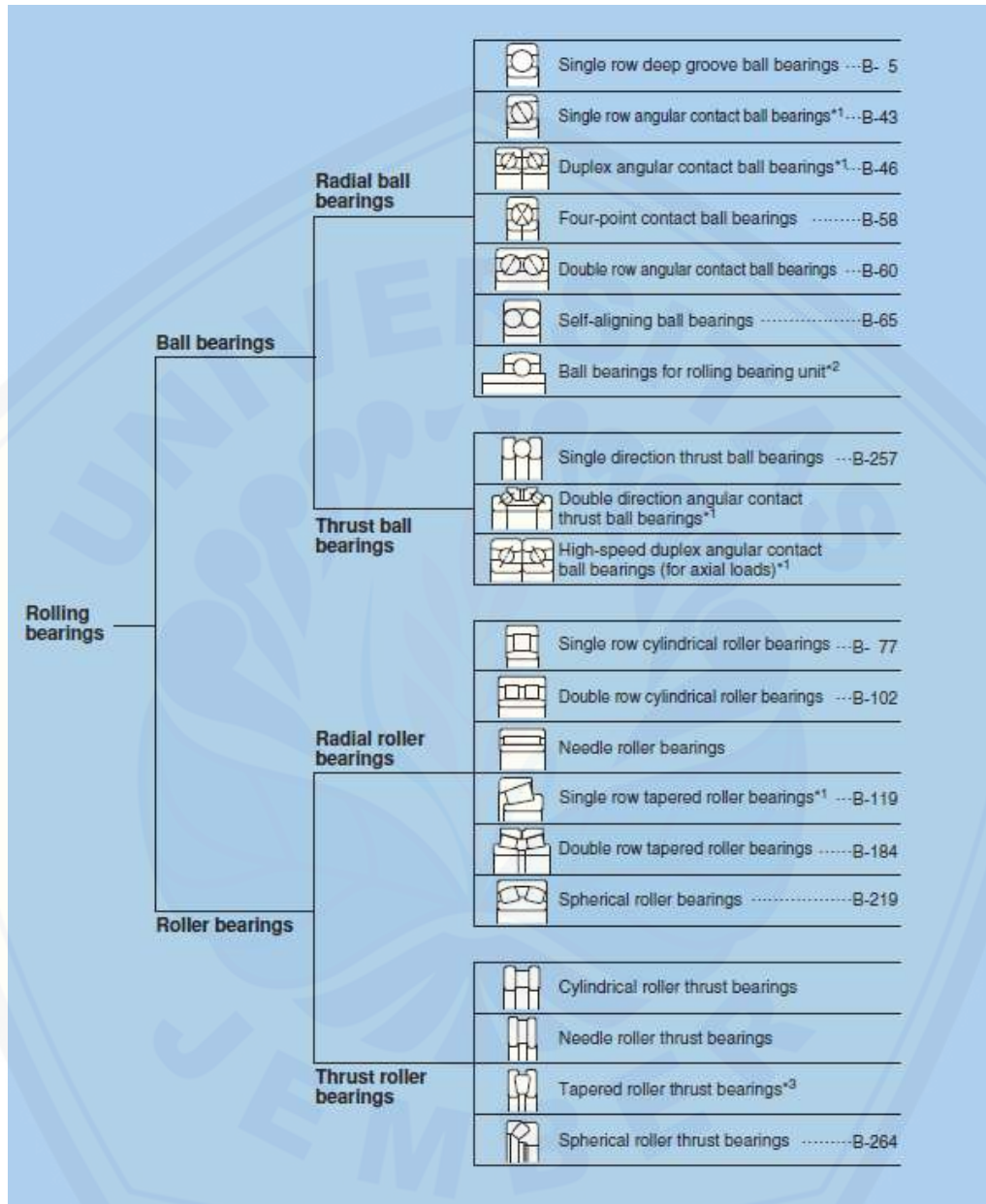
Gambar 2.5 Macam-macam bantalan luncur (Ir. Sularso, 1997)

#### b. Bantalan gelinding

Bantalan gelinding mempunyai keuntungan dari gesekan gelinding yang sangat kecil dibandingkan dengan bantalan luncur. Dengan memutar salah satu cincin tersebut, bola atau rol akan membuat gerakan gelinding sehingga gesekan di antaranya akan jauh lebih kecil. Bantalan gelinding pada umumnya lebih cocok untuk beban kecil dari pada bantalan luncur, tergantung pada bentuk elemen gelindingnya. Putaran pada bantalan ini dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut. Karena konstruksinya yang sukar dan ketelitiannya yang tinggi, maka bantalan gelinding hanya dapat dibuat oleh pabrik-pabrik tertentu saja (Ir. Sularso, 1997).

Pada umumnya harga bantalan ini lebih mahal dibandingkan bantalan luncur. Untuk menekan biaya pembuatan serta memudahkan pemakaian, bantalan gelinding diproduksi menurut standar, dalam berbagai ukuran dan bentuk. Keunggulan bantalan ini adalah pada gesekannya yang sangat rendah. Pelumasannya sangat sederhana, cukup dengan gemuk, bahkan pada macam yang memakai sil sendiri tak perlu pelumasan lagi. Bantalan ini memiliki ketelitian sangat tinggi, namun karena adanya gerakan elemen gelinding, pada putaran tinggi bantalan ini agak gaduh dibandingkan dengan bantalan luncur. Seperti

diperlihatkan dalam Gambar, elemen gelinding seperti bola atau rol, dipasang di antara cincin luar dan cincin dalam (Ir. Sularso, 1997).



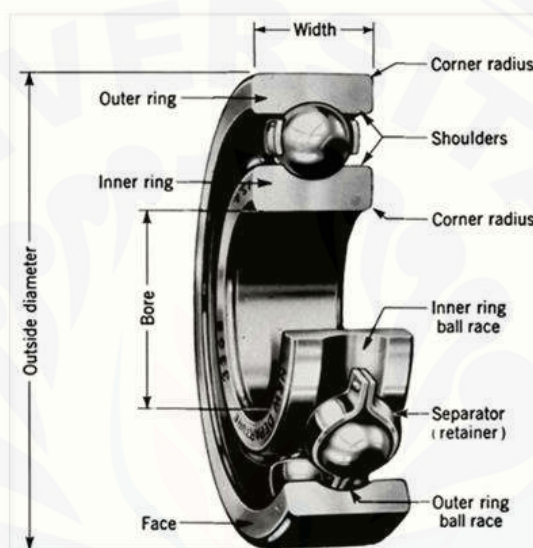
Gambar 2.6 Klasifikasi *rolling bearing* (Catalogue, 2013)

Pada waktu memilih bantalan, ciri masing-masing harus dipertimbangkan sesuai dengan pemakaian, lokasi, dan macam beban yang akan dialami. Secara garis besar bantalan gelinding terdiri atas dua jenis yaitu bantalan bola dan bantalan rol.



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

*Single row deep groove ball bearing* adalah jenis bantalan yang paling umum dari bantalan kontak bergulir. Karena tipe bantalan ini dapat menahan baik beban aksial dan beban radial. Di bawah beban radial, kontak antara bola dan ras adalah sepanjang garis vertikal. Cincin berada sedikit di bawah beban aksial dan bola bergulir dalam kontak dengan dinding sisi ras. Pada umumnya bantalan ini digunakan untuk mendukung poros di *gearbox* (Catalogue, 2013).



Gambar 2.7 *Rolling Contact Bearing*

<http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=125536>

### 2.1.4 Kode Spesifikasi Bantalan Gelinding

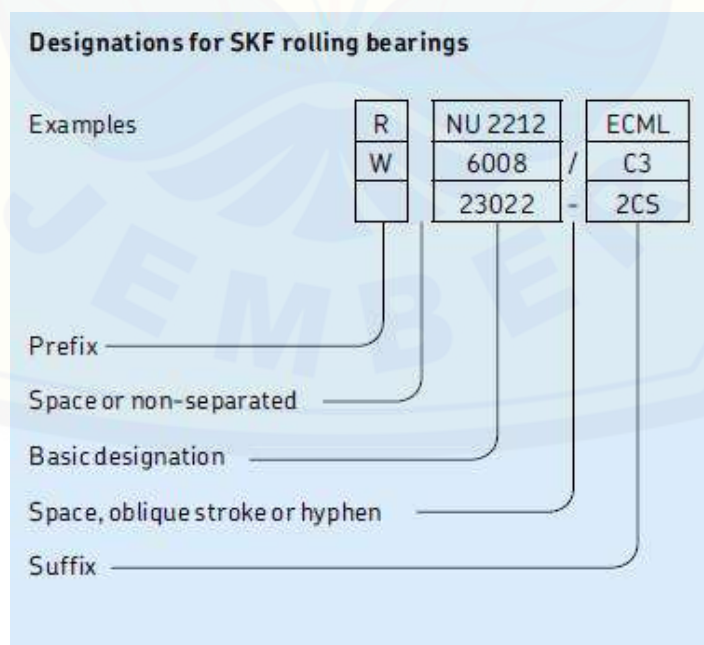
Dalam praktek, bantalan gelinding standar dipilih dari katalog bantalan. Ukuran utama bantalan gelinding adalah diameter lubang, diameter luar, lebar, dan lengkungan sudut. Pada umumnya, diameter lubang diambil sebagai patokan, dengan mana berbagai diameter luar dan lebar digabungkan (Ir. Sularso, 1997).

Nomor nominal bantalan gelinding terdiri dari nomor dasar dan pelengkap. Nomor dasar yang terdapat merupakan lambang jenis, lambang ukuran (lambang lebar, diameter luar), nomor diameter lubang, dan lambang sudut kontak. Lambang-lambang pelengkap mencakup lambang sangkar, lambang sekat (sil), bentuk cincin, pemasangan, kelonggaran, dan kelas. Jika hal-hal tersebut tidak diperinci, maka

lambang-lambang di atas tidak dituliskan. Lambang jenis menyatakan jenis bantalan. Baris tunggal alur dalam diberi tanda 6, rol silinder diberi tanda huruf seperti N, NF, dan NU, yang menyatakan macam kerahnya (Ir. Sularso, 1997).

Lambang ukuran menyatakan lebar untuk bantalan radial dan tinggi untuk bantalan aksial dapat juga menyatakan diameter luar dari bantalan-bantalan tersebut. Untuk bantalan bola radial, tidak terdapat lambang lebar. Diameter membesar dalam urutan: 7, 8, 9, 0, 1, 2, 3 dan 4. Lambang diameter luar 0, 2, dan 3 pada umumnya banyak dipakai. Juga lambang lebar 0, 1, 2, dan 3 lazim dipergunakan. Lambang diameter luar 0 dan 1 menyatakan jenis beban sangat ringan; 2, jenis beban ringan; 3, jenis beban sedang, dan 4, jenis beban berat (Ir. Sularso, 1997).

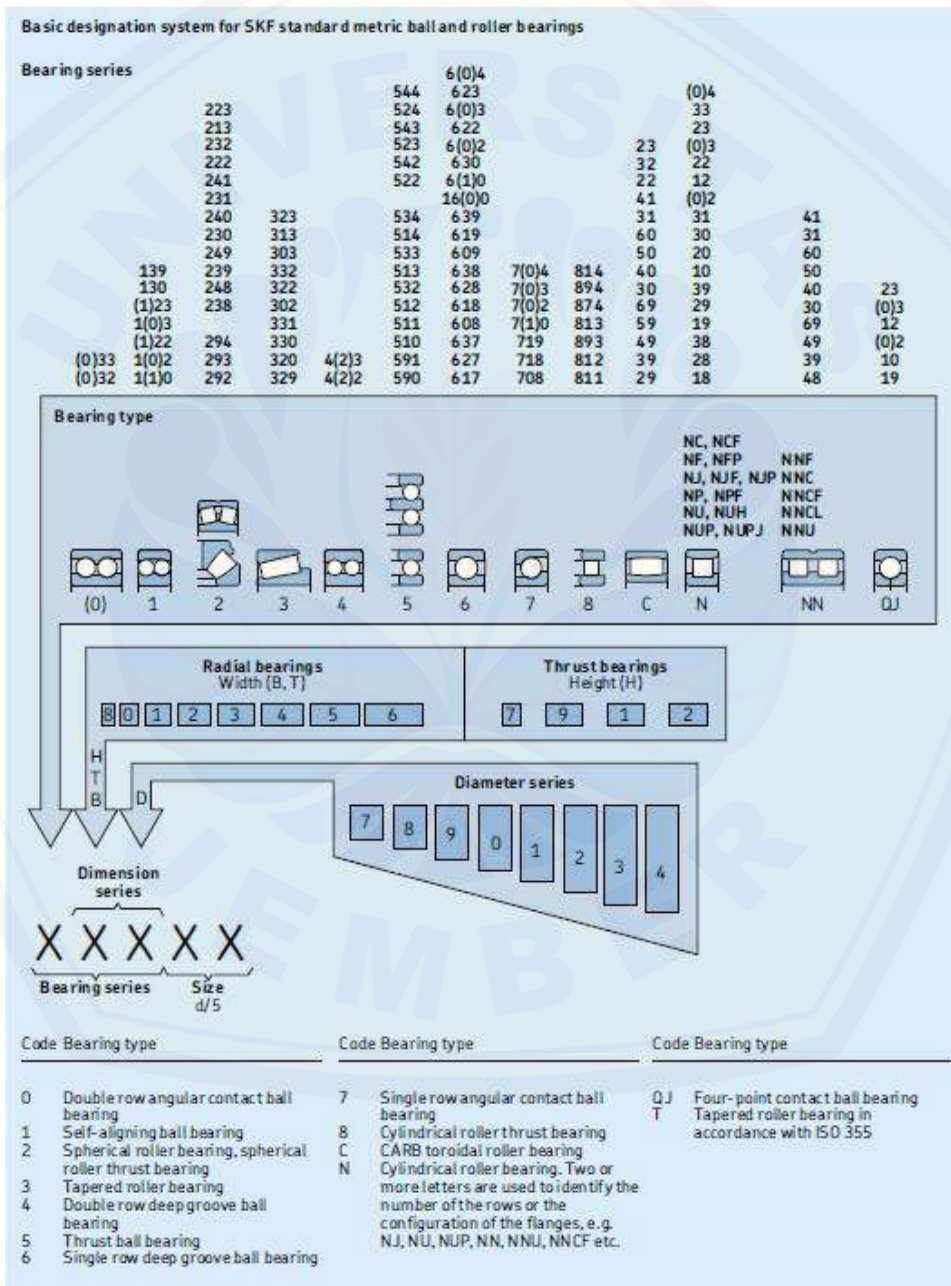
Nomor diameter lubang dinyatakan dengan dua angka. Untuk bantalan yang berdiameter 20-500 (mm), kalikanlah dua angka lambang tersebut dengan 5 untuk mendapatkan diameter lubang yang sebenarnya. Nomor tersebut bertingkat, dengan kenaikan sebesar 5 (mm) setiap tingkatnya. Untuk diameter lubang di bawah 20 (mm), nomor 00 menyatakan 10 (mm); 01, 12 (mm); 02, 15 (mm); dan 03, 17 (mm) diameter lubang. Untuk diameter lubang di bawah 10 (mm), nomor tanda adalah sama dengan diameter lubangnya (Ir. Sularso, 1997).



Gambar 2.8 Lambang dan pemberian kode pada bantalan (Catalogue, 2013)

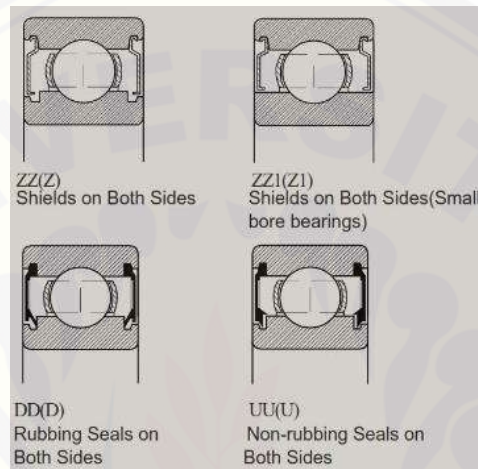
Keterangan dari setiap kode spesifikasi bantalan (Catalogue, 2013):

- a. *Prefix* digunakan untuk mengidentifikasi komponen bantalan. Kode ini juga dapat mengidentifikasi varian bantalan.
- b. *Basic designation* adalah kode yang menunjukkan dimensi dan tipe bantalan.
- c. *Suffix* adalah kode keterangan yang menunjukkan varian yang berupa jenis penutup bantalan dan kerenggangan bantalan (*clearance*).



Gambar 2.9 Nomor seri untuk jenis bantalan (Catalogue, 2013)

Bantalan bola alur dalam baris tunggal yang di desain terbuka, memiliki gaya gesek yang lebih kecil dibandingkan dengan bantalan yang memiliki sil. Selain itu bantalan yang mempunyai sil lebih sulit untuk proses pembuatannya dibandingkan dengan yang terbuka. Tetapi pada bantalan yang mempunyai sil memiliki umur yang lebih panjang dibandingkan dengan yang terbuka, itu semua dikarenakan adanya material yang dapat masuk (Ir. Sularso, 1997).



Gambar 2.10 Jenis seal pada *bearing* (Hanwa, 2001)

Bantalan bola alur dalam memiliki sil baja yang khusus guna untuk meningkatkan ketahanan abrasi dan kualitas minyak. Jika bantalan dilumasi dengan minyak, zat aditif yang terkandung dalam minyak dapat mengurangi umur sil. Dimana minyak juga mengurangi usia sil pada suhu tinggi. Oleh karena itu, dalam penggantian pelumas harus benar-benar diperhatikan untuk menjaga umur dari bantalan dan sil (Ir. Sularso, 1997)

Di bawah ini akan diberikan contoh nomor nominal dan artinya.

a. 6312 ZZ C3 P6

- dimana:
- 6 menyatakan bantalan bola baris tunggal alur dalam
  - 3 adalah singkatan dari lambang 03, di mana 3 menunjukkan diameter luar 130 (mm)
  - 12 berarti  $12 = 60$  (mm) diameter lubang
  - ZZ berarti bersil 2
  - C3 adalah kelonggaran C3
  - P6 berarti kelas ketelitian 6

b. 22220 K C3

- Dimana: 2 menyatakan bantalan rol mapan sendiri  
22 menunjukkan diameter luar 200 (mm) dan lebar 53 (mm)  
20 berarti 20 = 100 (mm) diameter lubang  
K berarti 1/12 tirus lubang, kelas ketelitian 0  
C3 kelonggaran C3

Sebagai tambahan, untuk bantalan rol kerucut dalam *inch* dapat ditemui dalam standar AFBMA, dan untuk bantalan miniatur dalam USAS. Untuk Perusahaan Kereta Api Nasional Jepang terdapat nomor nominal dengan lambang-lambang sepeni di atas di samping penomoran menurut JIS (Ir. Sularso, 1997).

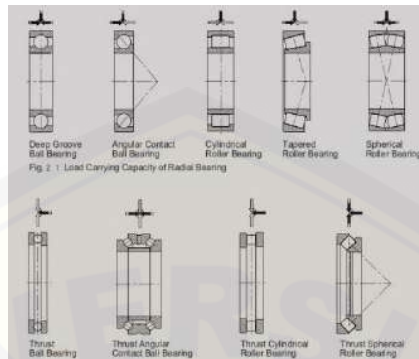
#### 2.1.5 Kapasitas Nominal Bantalan Gelinding.

Ada dua macam kapasitas nominal, yaitu kapasitas nominal dinamis spesifik dan kapasitas nominal statis spesifik. Misalkan sejumlah bantalan membawa beban tanpa variasi dalam arah yang tetap. Jika bantalan tersebut adalah bantalan radial, maka bebannya adalah radial murni, cincin luar diam dan cincin dalam berputar. Jika bantalan tersebut adalah bantalan aksial, maka kondisi bebannya adalah aksial murni. satu cincin diam dan cincin yang lain berputar. Jumlah putaran adalah 1.000.000 (atau 33,3 rpm selama 500 jam). Setelah menjalani putaran tersebut, jika 90 (%) dari jumlah bantalan tersebut tidak menunjukkan kerusakan karena kelelahan oleh beban gelinding pada cincin atau elemen gelindingnya, maka besarnya beban tersebut dinamakan kapasitas nominal dinamis spesifik. dan umur yang bersangkutan disebut umur nominal (Ir. Sularso, 1997).

Jika bantalan membawa beban dalam keadaan diam (atau berayun-ayun), dan pada titik kontak yang menerima tegangan maksimum besarnya deformasi permanen pada elemen gelinding ditambah besarnya deformasi cincin menjadi 0,0001 kali diameter elemen gelinding maka beban tersebut dinamakan kapasitas nominal statis spesifik (Ir. Sularso, 1997).

Kedua macam beban di atas merupakan faktor dasar yang pertama dalam pemilihan bantalan. Rumus-rumus perhitungan beban dinamis spesifik dulu belum diseragamkan di seluruh dunia. Hal ini dapat dilihat pada perbedaan besarnya harga

beban dinamis spesifik ( $C$ ) dari bantalan yang sama ukurannya tetapi dibuat oleh pabrik yang berbeda (Ir. Sularso, 1997).



Gambar 2.11 Kemampuan bantalan menahan beban (HANWHA, 2001)

Dalam tahun 1959, persamaan teoritis dari Lundberg dan Palmgrens diterima oleh ISO, dan dimasukkan dalam JIS B 1518. Pada saat itu, semua produsen bantalan menggunakan standar perhitungan tersebut sehingga harga  $C$  yang terdapat dalam katalog bantalan dari berbagai pabrik sama besarnya untuk bantalan yang sama ukurannya. Persamaan untuk  $C$  pada bantalan bola dan rol radial adalah sebagai berikut (Ir. Sularso, 1997)

Untuk diameter bola 25,4 (mm) atau kurang

$$C = f_c (i \cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} D_\alpha^{1,4} \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk diameter bola lebih dari 25,4 (mm)

$$C = f_c (i \cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} \times 3,647 D_\alpha^{1,4} \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk bantalan rol

$$C = f_c (i \cos \alpha)^{7,9} Z^{3/4} D_\alpha^{29/27} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:  $C$  Kapasitas nominal dinamis spesifik

$i$  Jumlah baris bola dalam satu bantalan

$\alpha$  Sudut kontak nominal

$Z$  Jumlah bola dalam tiap baris

$D_\alpha$  Diameter bola

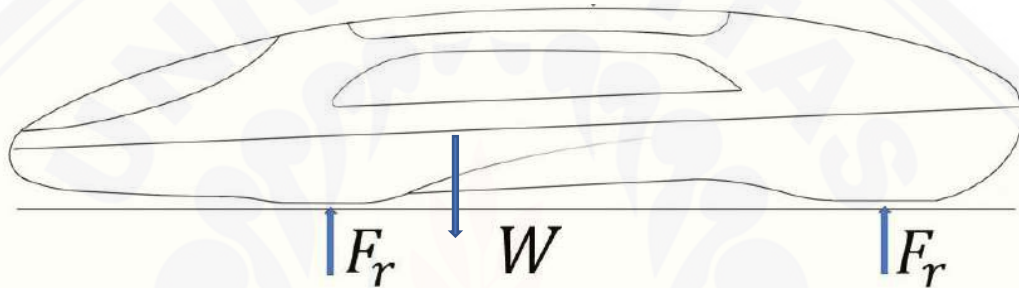
$f_c$  faktor-faktor yang besarnya tergantung pada jenis, kelas ketelitian, dan bahan dari bagian-bagian bantalan

$L_\alpha$  Panjang efektif rol

2.1.6 Perhitungan Beban Yang Terjadi Pada Bantalan Gelinding

a. Perhitungan Beban Radial

Beban radial pada bantalan dapat di asumsikan pada sebuah kendaraan, dimana arah pembebanannya tegak lurus dengan sumbu poros roda. Pada kendaraan, untuk mendapatkan beban radial dapat diperoleh dari pembebanan di masing-masing roda kendaraan, dimana untuk menentukan berat keseluruhan dari kendaraan diukur dari pusat masa (COG / *Center of Gravity*). Untuk pengukuran berat yang dialami oleh roda, maka posisi pengukuran harus horizontal, dan di beri alat ukur di bawahnya, dapat berupa timbangan.



Gambar 2.12 Skema beban radial pada mobil *prototype*

Rumus Perhitungan dari beban radial yaitu:

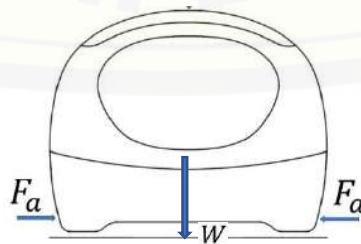
$$W = F_r \times \text{Jumlah roda} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana W : (m.g) Berat kendaraan keseluruhan

$F_r$  : Gaya radial pada masing-masing roda

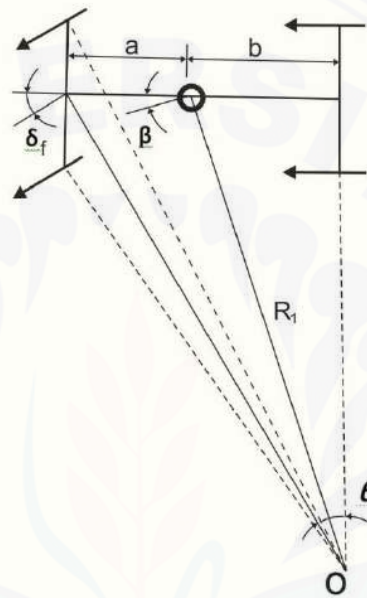
b. Perhitungan Beban Aksial

Beban aksial pada bantalan dapat di asumsikan pada sebuah kendaraan pada saat mobil berjalan di belokan, dimana arah pembebanannya sejajar dengan sumbu poros roda. Pada mobil yang berjalan di belokan biasanya terjadi dua gaya yaitu gaya radial dan gaya aksial yang disebut dengan gaya tangensial.



Gambar 2.13 Skema beban aksial pada mobil *prototype*

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. Beban aksial yang terjadi pada bantalan kendaraan diperoleh dari hasil perhitungan gaya kesamping (gaya *centrifugal*) yang diterima kendaraan yang kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah roda yang dimiliki kendaraan (Sutantra, 2010).



Gambar 2.14 Free body diagram gaya sentrifugal (Sutantra, 2010)

- Keterangan: O = pusat putar sementara  
 $R_i$  = radius belok *ideal ackerman*  
 $\theta_i$  = sudut belok *ideal*  
 $\beta$  = sudut *side slip* kendaraan  
 $\delta_f$  = sudut *steer* rata-rata dari roda depan

Rumus dari gaya dinamis *centrifugal* yaitu:

$$F_c = W \frac{V^2}{r_n} \dots\dots\dots (2.5)$$

- dimana:  $F_c$  = gaya *centrifugal* (N)  
 $W$  = berat kendaraan (kg)  
 $V$  = kecepatan kendaraan (m/s<sup>2</sup>)  
 $R_n$  = radius belok kendaraan (m)



## 2.2 Rolling Resistance

*Rolling Resistance* adalah tahanan terhadap benda yang berputar akibat adanya gaya gesekan terhadap permukaan. Pada dasarnya, *rolling resistance* adalah momen benda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan suatu benda (Hamid Taghavifar, 2014)

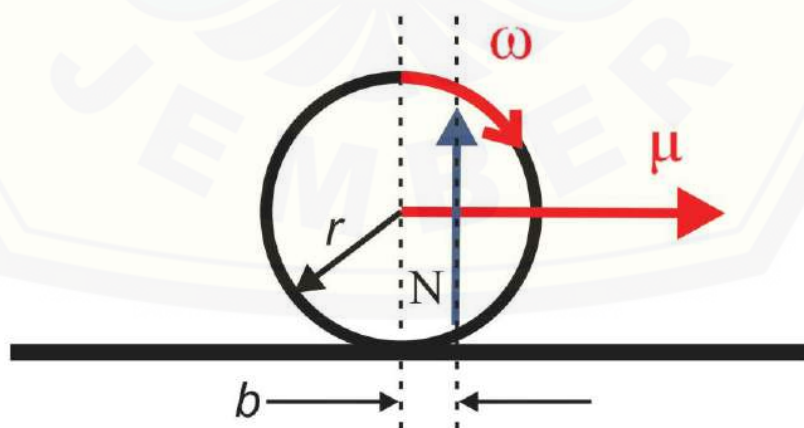
Tahanan gelinding (*Rolling Resistance*, biasa disingkat RR) merupakan segala gaya-gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerak suatu benda yang sedang berjalan di atas suatu permukaan. *Rolling Resistance* dapat dinyatakan sebagai berikut: (Muttaqin, 2015):

$$F_r = c \cdot W \dots\dots\dots (2.6)$$

- Dimana:  $F_r$  = *rolling resistance* atau gesekan bergulir (N, lbf)  
 $c$  = koefisien *rolling resistance* (CRR)  
 $W$  =  $m \cdot g$  = berat pada mobil (N, lbf)  
 $m$  = massa mobil (kg, lb)  
 $g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>, 32.17 ft/s<sup>2</sup>)

### 2.2.1 Rolling Resistance Pada Bearing

Pendekatan ini didasarkan pada hipotesis bahwa fenomena *rolling resistance* terjadi karena interaksi antara ras dan elemen bergulir, yang menyebabkan terjadinya gaya tangensial, (Jose L. Gomez, 2016).



Gambar 2.15 Fenomena *rolling resistance* (Jose L. Gomez, 2016)

Dari *Free Body Diagram* diatas dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$b = \mu \cdot r \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:  $b$  : Jarak antara sumbu elemen bergulir dan titik penerapan gaya normal

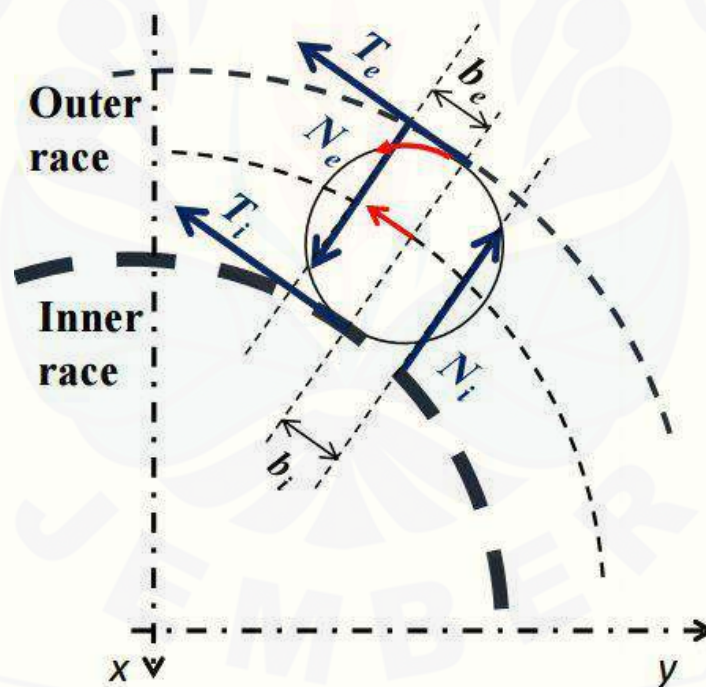
$\mu$  : Koefisien *rolling resistance*

$r$  : Radius dari bola

$\omega$  : Kecepatan sudut

$N$  : Gaya normal

Pada pembebanan dinamis yang dialami oleh bantalan, maka dapat digambarkan pada fenomena berikut ini untuk mendapatkan gaya *rolling resistance*:



Gambar 2.16 *Free body diagram rolling resistance* pada gaya tangensial  
(Jose L. Gomez, 2016)

Dimana:  $T$  : *Inner race* dan *outer race* untuk gaya tangensial

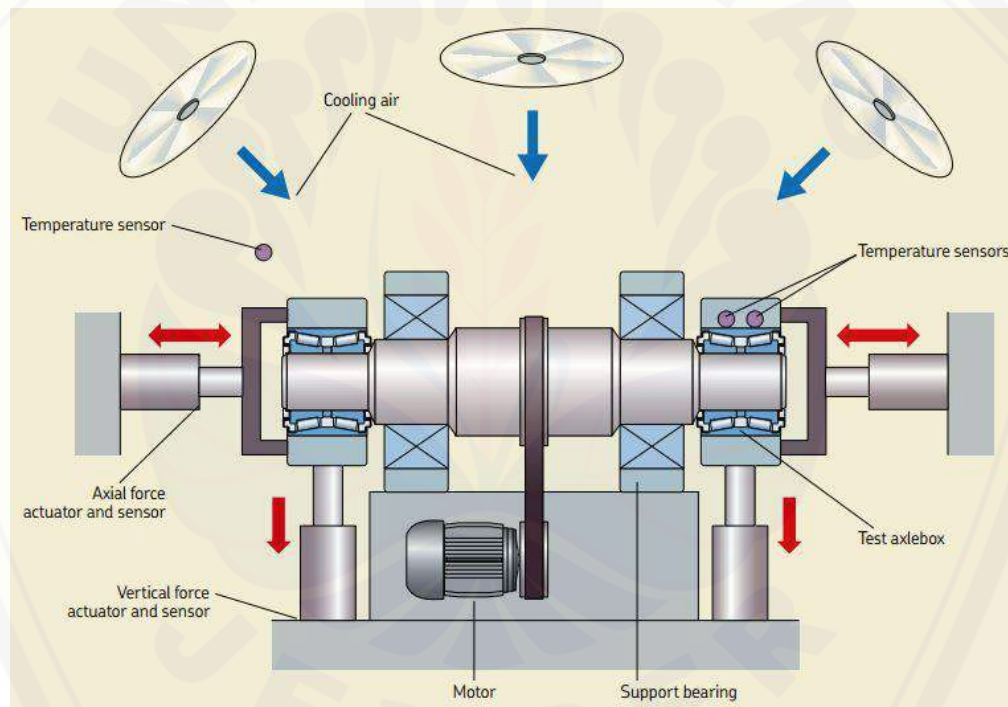
$N$  : Gaya Normal

$b$  : Jarak antara sumbu bola dan titik penerapan gaya normal

### 2.2.2 Standar Pengujian *Bearing*

Spesifikasi dari *bearing* telah diuji dan di standarisasi sesuai standar yang dilakukan di Teknologi Taman di Nieuwegein, Belanda. Pada pengujian bantalan bagian-bagian seperti bingkai, pelumasan, serta unit dan komponen seperti sil dan rumah bantalan. Fasilitas ini sesuai dengan kriteria akreditasi untuk laboratorium uji sesuai dengan ISO/IEC 17025. Pengujian bantalan terletak di pusat pengembangan dan unit produksi (SKF, 2012)

Ada standar pengujian yang berbeda dan persyaratan seperti Eropa (EN) dan Amerika (AAR), harus dipenuhi serta persyaratan nasional di Negara Eropa, China dan Rusia dan persyaratan oleh pelanggan individual (SKF, 2012).



Gambar 2.17 Pengujian bantalan (SKF, 2012)

Untuk keamanan dan keandalan jangka panjang, prosedur pengujian yang ketat diterapkan sebelum memperkenalkan desain bantalan *axelbox* baru untuk kecepatan yang berbeda dan beban ganda. EN 12082 adalah alat standar untuk pengujian bantalan, serta operator kereta api. Standar ini menjelaskan dua jenis utama dari pengujian, kinerja dari *bearing* dan uji lapangan (SKF, 2012).

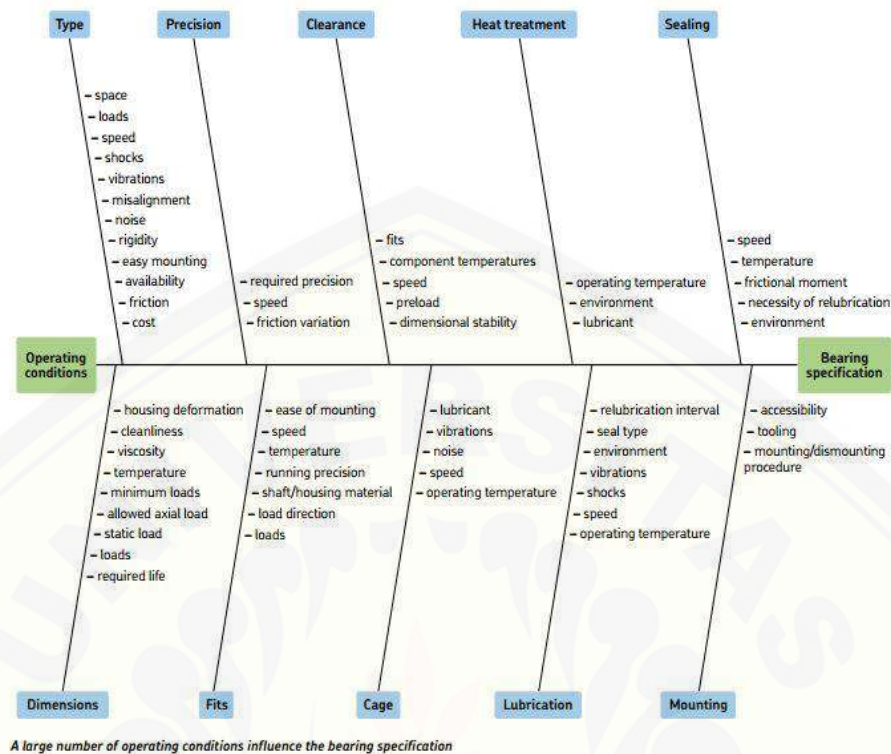
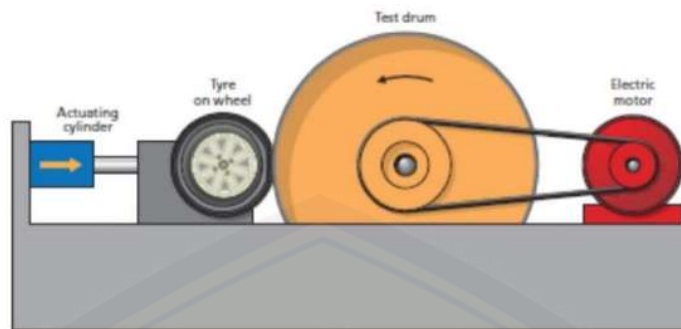


Diagram 2.1 Standar pengujian spesifikasi bantalan (SKF, 2012)

### 2.2.3 Pengujian *Rolling Resistance* Pada *Bearing*

Pada pengukuran *rolling resistance* ban terdapat standar internasional atau standart industri tetapi 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*. Penempatan silinder sejajar dengan pusat *drum* dan ban yang akan diuji, kemudian ban di senggolkan terhadap *drum* yang diputar oleh motor. *Rolling resistance* ban mengacu terhadap efek pengereman rotasi *drum* kemudian masuk 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 2.18 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 (Muttaqin, 2015):


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

Pada pengujian *bearing* terdapat Standar Internasional atau standar industri, yang menjadi suatu patokan untuk pembuatan dan *testing* kelayakan dari bantalan tersebut.

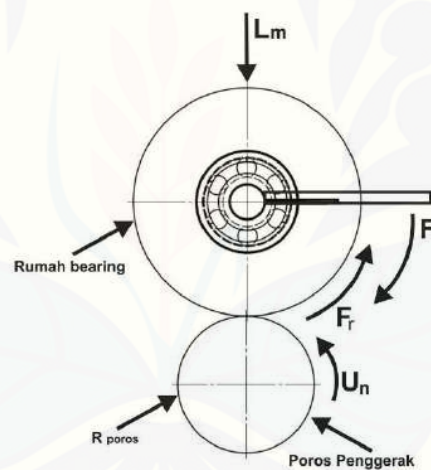
Tabel 2.1 Ilustrasi *Rotating Inner Ring and Stationary Outer Ring* (HANWHA, 2001)

| Bearing Motions  | Examples  | Illustration | Loading Conditions                 | Fits                           |
|--|---|--------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Rotating Inner Ring<br>Stationary Outer Ring<br>Constant Direction | Weight suspended by the shaft<br>Driving wheel of automotive vehicles | <br>Weight   | Circumferential load on inner ring | Inner ring Tight fit mandatory |

Tabel 2.2 Ilustrasi *Rotating Outer Ring and Stationary Inner Ring* (HANWHA, 2001)

| Bearing Motions         | Examples  | Illustration  | Loading Conditions       | Fits                             |
|-------------------------|---|---|--------------------------|----------------------------------|
| Stationary Inner Ring   | Non-driven wheel of automotive vehicles<br>Conveyor idler |  | Point load on Inner Ring | Inner ring slide fit Permissible |
| Rotating Outer Ring     |   |   |                          |                                  |
| Constant Direction Load |   |   |                          |                                  |

Pengujian *inner race bearing* terhadap *rolling resistance*, diasumsikan terhadap pengujian ban dan terhadap pengujian *bearing* sendiri. Dari pengembangan alat uji *testing bearing* yang sesuai standar ISO/IEC 17025, serta alat uji ban dengan menggunakan Drum Standar ISO 8767 dan 9948, maka diperoleh skema pengujian alat yang dapat dilihat dengan *Free body diagram* seperti berikut:



Gambar 2.19 Free body diagram pengujian *rolling resistance* pada *bearing*.

(Sumber: Standar IS/ISO 18164:2005)

Keterangan:

$U_n$  = Kecepatan poros yang menggerakkan rumah bantalan

$L_m$  = Beban pada ban arah radial dan aksial terhadap sumbu poros

$R_b$  = Radius rumah *bearing*

$R_p$  = Radius poros penggerak

$F_r$  = Gaya *rolling resistance*

$F_t$  = Gaya tangensial

Dari gambar tersebut, maka untuk menghitung gaya tangensial dapat menggunakan timbangan emas dengan ketelitian 0.01, sehingga nilai  $F_t$  langsung diketahui dengan akurat, dan nilai *rolling resistance* dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan seperti berikut:

$$F_r = F_{t1} \left[ 1 + \left( \frac{R_t}{R_p} \right) \right] - F_{pf} \dots\dots\dots (2.8)$$

- Dimana:  $F_r$  : Gaya *rolling resistance* (N)  
 $F_{t1}$  : Gaya tangensial setelah pembebanan (N)  
 $R_t$  : Jari-jari pada tuas (m)  
 $R_p$  : Jari-jari pada poros penggerak (m)  
 $F_{pf}$  : Gaya rugi akibat faktor-faktor transmisi.

### 2.3 Mobil Listrik

Mobil listrik merupakan kendaraan yang menggunakan tenaga penggerak berupa motor listrik dengan sumber energi yang berasal dari baterai. Mobil listrik sangat populer pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20. Penggunaan mobil listrik sangat ramah lingkungan serta akan mendukung pencegahan efek *global warming* karena tidak menimbulkan polusi udara. Dan mobil listrik juga tidak mengkonsumsi bahan bakar fosil sehingga ketika terjadi krisis energi fosil maka keberadaan mobil listrik dirasa aman. Saat ini beberapa instansi perguruan tinggi di Indonesia telah berpartisipasi untuk mengembangkan teknologi mobil listrik, salah satunya Universitas jember (Fauzi, 2013)



Gambar 2.20 Kontes mobil hemat energi SEM

<https://www.peneliti.net/single-post/2016/07/10/Mahasiswa-Indonesia-Rajai-Panggung-Inovasi-Mobil-Hemat-Energi-Shell-Ecomarathon>

Universitas Jember merupakan salah satu dari beberapa instansi perguruan tinggi yang turut serta dalam pengembangan mobil listrik. Pengembangan mobil listrik di Universitas Jember sudah dimulai sejak tahun 2009 dan pelaksana dalam pengembangannya adalah mahasiswa Fakultas Teknik dari jurusan Teknik Mesin, Teknik Elektro dan Teknik Sipil. Konsep awal pengembangan mobil listrik di Universitas Jember bermula dengan pembuatan sebuah *prototype* yang di rancang oleh tim *Mechanical* dan *Electrical*. Serta dukungan dari akademika Fakultas Teknik dan Universitas Jember dalam pengembangan mobil listrik, membuat bertambahnya semangat mahasiswa untuk menghasilkan mobil listrik yang diberi nama Titen. Mobil-mobil ini terus dikembangkan dan juga dilombakan pada *event-event* nasional hingga internasional yang rutin dilakukan setiap tahun mulai tahun 2009 hingga sekarang (Fauzi, 2013)



Gambar 2.21 Mobil listrik Titen *prototype* Universitas Jember  
(Sumber: arsip pribadi)

### 2.3.1 Regulasi

- Kendaraan yang digunakan beroda tiga yang dikendarai oleh satu orang pengemudi dan digerakkan oleh motor listrik dengan sumber energi baterai.
- Baterai utama adalah sumber energi listrik utama yang dapat digunakan sebagai sumber energi pada penggerak mobil listrik.
- Saat dilakukan uji efisiensi kendaraan, mobil listrik akan menempuh jarak *start* hingga *finis* pada lintasan sepanjang 1,19 km x 10 putaran dengan batas waktu maksimal 29 menit.



### 2.3.2 Spesifikasi Mobil Listrik

- a. Dimensi panjang mobil listrik *prototye* adalah 267 cm
- b. Dimensi lebar mobil listrik *prototye* adalah 77 cm
- c. Dimensi tinggi mobil listrik *prototye* adalah 69 cm
- d. Berat minimum mobil listrik *prototye* adalah 37,4 kg
- e. Daya total motor maksimum yang diijinkan adalah 350 W
- f. Tegangan baterai maksimum adalah 36 V (sesuai name plate pabrikan) dengan kapasitas total baterai maksimum adalah 2,2 kWh, boleh dirangkai seri, paralel, atau seri-paralel.

### 2.4 Desain Eksperimen Menggunakan *Response Surface Methodology*

Desain eksperimen merupakan suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefinisikan) sehingga informasi yang diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan secara rinci. Dengan menggunakan salah satu metode statistik, maka eksperimen yang dilakukan untuk melakukan suatu pengambilan data, dapat tercapai sesuai dengan analisis obyektif, yang nantinya dapat memberikan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas. (Raymond H. Myers, 2011)

Secara umum, tujuan suatu eksperimen adalah untuk memperoleh keterangan tentang bagaimana respon yang diberikan oleh suatu obyek pada berbagai keadaan tertentu yang ingin diperhatikan. Keadaan tertentu biasanya merupakan sesuatu yang sengaja diciptakan atau ditimbulkan, baik melalui pemberian perlakuan atau pengaturan keadaan lingkungan. Meskipun pemberian perlakuan telah ditentukan dan keadaan lingkungan telah diatur dengan cermat, penelaahan mengenai respon tidak akan luput dari gangguan keragaman alami yang ada pada setiap obyek serta pengaruh berbagai faktor yang memang tidak dapat dibuat persis sama bagi setiap obyek dalam eksperimen. Dalam hal ini metode analisis varian dapat membantu peneliti untuk memisah dan mengurut apa saja yang menimbulkan keragaman respon, yaitu berapa bagian yang disebabkan oleh perlakuan, berapa bagian yang disebabkan oleh lingkungan dan berapa bagian yang

ditimbulkan oleh berbagai pengaruh yang tidak dapat dianalisis dengan jelas (Nuryanti, 2008)

Untuk memahami seberapa jauh suatu proses yang optimum dipengaruhi oleh sejumlah faktor, sering diperlukan data-data percobaan dalam jumlah besar dan membutuhkan waktu lama, yang secara otomatis juga akan memerlukan biaya dalam jumlah yang besar. Beberapa metode statistik dan matematika sering dipakai untuk melakukan pendekatan guna memperoleh pemahaman terhadap kondisi optimum dari suatu proses, tanpa memerlukan data yang terlampaui banyak. Diantara metode yang sering dipakai adalah metode respon permukaan. Metode respon permukaan (*response surface methodology*) merupakan sekumpulan metode statistik dan matematika yang berguna untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon. Ide dasar metode ini adalah memanfaatkan desain eksperimen dengan bantuan statistik untuk mencari nilai optimal dari suatu respon (Nuryanti, 2008)

Metode ini pertama kali diajukan sejak tahun 1951 dan sampai saat ini telah banyak dimanfaatkan baik dalam dunia penelitian maupun aplikasi industri. Misalnya, dengan menyusun suatu model matematika, peneliti dapat mengetahui nilai variabel-variabel independen yang menyebabkan nilai variabel respon menjadi optimal. (Nuryanti, 2008)

Prinsip dasar dalam melakukan desain eksperimen ada 3, yaitu replikasi, randomisasi (pengacakan), dan kontrol lokal. Prinsip pertama adalah replikasi atau perlakuan yang sama pada unit yang berbeda. Fungsi dari replikasi adalah untuk mengetahui kesalahan pengukuran variabilitas alami. Dengan melakukan replikasi, berkemungkinan memperoleh nilai taksiran pengaruh yang lebih tepat. Replikasi memiliki 3 properti penting, yaitu (Sulistiyanto, 2016):

Pertama, penyimpangan taksiran, merupakan unit pengukuran dasar untuk menentukan waktu terjadi perbedaan pengamatan dalam data secara statistik yang berbeda secara nyata. Kedua rata-rata sampel yang digunakan untuk menaksir pengaruh suatu faktor dalam eksperimen.

Prinsip kedua adalah randomisasi. Dalam eksperimen harus memberikan perlakuan acak pada unit-unit. Karena metode statistik mengharapkan bahwa pengamatan atau *error* adalah variabel independen, random, dan berdistribusi tertentu.

Prinsip ketiga adalah kontrol lokal, maksudnya sembaran metode yang dapat menjelaskan dan mengurangi *variabilitas* alami. prinsip ini melakukan pengelompokan satuan unit eksperimen yang mirip ke dalam kelompok tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan ketepatan data eksperimen (Sulistiyanto, 2016).

#### 2.4.1 Metode Respon Permukaan

Metode respon permukaan adalah kumpulan metode statistik dan matematika yang berguna untuk masalah pemodelan dan teknik analisis. Dalam teknik ini, tujuan utama adalah untuk mengoptimalkan respon yang dipengaruhi oleh berbagai faktor. Metode respon permukaan juga mengkuantifikasi hubungan antara parameter input terkendali dan respon yang diperoleh (N. Aslan, 2006)

Prosedur desain metode respon permukaan adalah sebagai berikut:

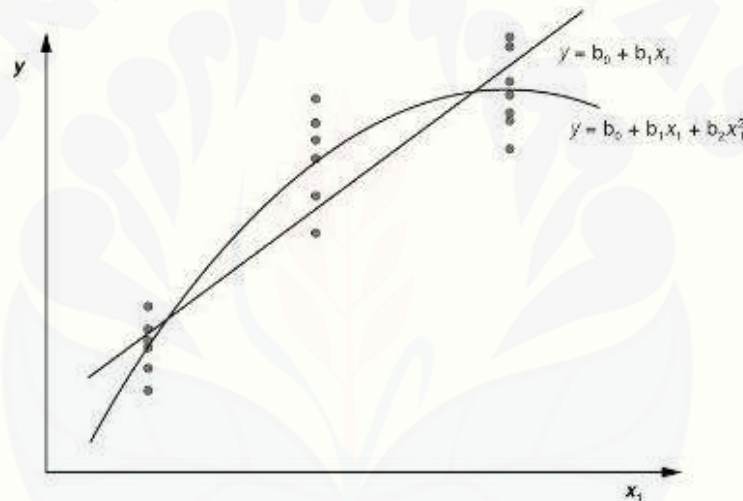
- a. Merancang dari serangkaian eksperimen untuk pengukuran yang memadai dan dapat dilakukan untuk pemodelan respon.
- b. Mengembangkan model matematika dari respon permukaan dengan mengambil data yang terbaik.
- c. Menemukan settingan yang optimal dari parameter eksperimental yang menghasilkan maksimum atau nilai minimum respon.
- d. Mewakili efektif langsung dan interaktif dari faktor melalui dua dan tiga plot dimensi.

Tahap pertama dalam RSM adalah mencari fungsi hubungan antara *variable respon* dan *variable independent* (faktor) yang tepat. Dalam permasalahan RSM, sering tidak diketahui hubungan antara variabel respon dan variabel independen. Untuk memodelkannya, perlu memeriksa apakah model antar variabel adalah model linier (model orde satu/regresi linier) atau model polinomial. Apabila dalam system terdapat pola tidak linier, tentu model yang tepat adalah model polinomial orde tinggi (model regresi berganda/orde dua). Dalam penggunaan metoda

permukaan respon terdapat dua jenis desain yaitu *Central Composite Design* dan *Box-Behnken Design*. (Sulistiyanto, 2016):

*Box-Behnken Design* merupakan perencanaan desain yang digunakan untuk desain eksperimen yang tidak sekuensial yang hanya merencanakan untuk satu kali eksperimen. Untuk desain dengan jumlah faktor yang sama, jumlah eksperimen yang dilaksanakan lebih sedikit dibanding dengan *Central Composite Design* (Mathews, 2005).

Langkah pertama dari metode permukaan respon adalah menemukan hubungan antara respon (y) dengan faktor (independen atau x) yang tepat melalui persamaan polinomial orde satu (model orde I).



Gambar 2.22 Kurva untuk grafik linier dan kuadrat (Mathews, 2005)

Secara umum bentuk persamaan regresi orde pertama dinyatakan sebagai berikut (Sulistiyanto, 2016):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + e \dots\dots\dots (2.9)$$

Pendugaan untuk orde pertama adalah:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_iX_i \dots\dots\dots (2.10)$$

Selanjutnya pada keadaan mendekati respon, model order dua atau lebih biasanya disyaratkan untuk mengaproksimasi respon karena adanya lengkungan (*curvature*) dalam permukaannya untuk persamaan model orde kedua ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_iX_i + \sum_{i=1}^k b_{ii}X_i^2 + \sum \sum_{i<j} b_{ij} X_iX_j + e \dots\dots\dots (2.11)$$

Pendugaan untuk model orde kedua dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} X_i X_j, i < j \dots\dots\dots (2.12)$$

Jika  $k = 3$  penduga untuk model orde kedua menjadi:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:  $Y$  : nilai pendugaan/respon

$X_i$  : variabel bebas,  $i = 1, 2, 3, \dots, k$

$b_0$  : konstanta,  $b_i$  = koefisien parameter model,  $i = 1, 2, 3, \dots, k$

$e$  : residual dengan asumsi independen  $(0, \sigma^2)$

#### 2.4.2 Pemeriksaan Asumsi Klasik

Analisis regresi berganda menggunakan teknik perhitungan *ordinary least square* untuk mendapatkan nilai duga koefisien parameter regresi. Nilai duga harus memenuhi beberapa asumsi agar dapat diterima. Dengan OLS, kesalahan nilai duga sangat kecil dan merupakan yang terbaik. Asumsi ini biasa disebut dengan asumsi klasik, yaitu: Normalitas, autokorelasi (independen), heteroskedastisitas, dan multikolinieritas. Pengujian asumsi klasik menggunakan data residual kecuali multikolinieritas, residual didefinisikan sebagai selisih antara nilai pengamatan dan nilai dugaannya  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$  (Sulistiyanto, 2016).

Variabel prediktor disebut juga variabel independen (faktor), yang berarti variabel prediktor tidak memiliki hubungan atau korelasi terkait satu sama lain (*intercorrelation*). Dengan kata lain, variabel prediktor ini tidak memiliki sifat multikolinieritas. Koefisien regresi diasumsikan *error* ( $\epsilon$ ) bersifat identik dan independen (IID) dan berdistribusi normal (normalitas) dengan rata-rata nol dengan varian tertentu  $(0, \sigma^2)$  atau tidak memiliki sifat heteroskedastisitas (varian konstan).

Asumsi juga tidak memiliki ketergantungan diantara komponen *error* terhadap unsur waktu (*time series*). Untuk pemeriksaan asumsi apakah model terpenuhi atau tidak, dengan cara uji distribusi normal yang dilakukan untuk menguji apakah residual berdistribusi normal atau tidak, dengan menggunakan *normal probability plot* yang menyatakan probabilitas dari residual suatu respon. Secara visual dapat diketahui jika plot membentuk garis lurus dari kiri bawah ke

kanan atas menunjukkan residual berdistribusi normal. Dapat juga dilakukan pengujian dengan metode formal, yaitu uji *Kolmogorov-smirnov normality test*, *Anderson-darling*, dan lainnya. Residual berdistribusi normal apabila  $P_{value} > \alpha$ . (Sulistiyanto, 2016).

### 2.4.3 Pengujian Kesesuaian Model

#### a. Koefisien Determinasi ( $R^2$ )

Koefisien R-Sq (*R-square*,  $R^2$ ), suatu nilai statistik yang menunjukkan koefisien determinasi, yaitu menerangkan kecukupan faktor yang diambil untuk menentukan besarnya pengaruh terhadap respon (Y). Dengan kata lain koefisien ini menunjukkan seberapa besar hubungan (*good of fit*) antara variabel prediktor secara serentak terhadap variabel respon (Supranto, 1996). Nilai ini umumnya dinyatakan dalam persen (%). Secara manual,  $R^2$  tersebut dapat pula dihitung dengan rumus:

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \times 100\% = b_1 \frac{JHK_{XY}}{JK_Y} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Semakin besar nilai  $R^2$  maka semakin besar pula pengaruh semua variabel X terhadap variabel Y. Model yang baik adalah model yang memiliki nilai  $R^2$  yang tinggi mendekati 100% atau 1 (koefisien determinasi nilainya terletak antara  $0 < R^2 < 1$ ) (Sulistiyanto, 2016).

R-Sq (adj) (*R-square adjusted*), yaitu merupakan nilai  $R^2$  yang telah dikoreksi dengan derajat bebasnya. Nilai ini dapat pula dihitung dengan rumus:

$$R^2_{adj} = \left( 1 - \frac{\frac{JKS}{n-p}}{\frac{JKT}{n-1}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.17)$$

dengan:  $p$  = banyaknya koefisien regresi (dalam RLS,  $p = 2$ )

#### b. Pengujian Adanya Penyimpangan (*Uji Lack of Fit*)

Dalam menentukan ketepatan model diperlukan uji *lack of fit*. Tujuan pengujian *lack of fit* adalah untuk mengetahui kesesuaian model yang dihasilkan. Uji ini menggunakan *mean square lack of fit* dan *mean square pure error* dengan nilai distribusi F atau distribusi P. Uji statistik yang digunakan adalah (Sulistiyanto, 2016):

$$F_{rasio} \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Apabila  $F_{rasio} > F_{(a;n-k-l-n_e;n_e)}$  atau  $P_{value} > \alpha$  yang berarti tidak ada ketidaksesuaian (*lack of fit*) antara model yang diduga dengan model sebenarnya (Sulistiyanto, 2016)

c. Pengujian Parameter Serentak (simultan)

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah koefisien dari model secara serentak (simultan) nyata atau tidak. Uji simultan berfungsi untuk mengetahui apakah antara variabel faktor (X) dan variabel respon (Y) signifikan, atau setidaknya ada salah satu dari variabel prediktor yang berpengaruh signifikan. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian parameter regresi secara serentak adalah sebagai berikut (Sulistiyanto, 2016):

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0 \dots\dots\dots (2.19)$$

dinamakan:  $H_0$  : minimal ada satu  $\beta_j \neq 0; j = 1, 2, \dots, k$

Uji statistik yang digunakan (Sulistiyanto, 2016):

$$F_{hitung} = \frac{MS_R}{MS_E} = \frac{SS_R/k}{SS_R/(N-1-k)} \dots\dots\dots (2.20)$$

Daerah penolakan yaitu tolak  $H_0$  pada tingkat signifikansi  $\alpha$  apabila  $F_{hitung} > F_{(a;k;n-1-k)}$  yang berarti secara statistik variabel-variabel bebas terhadap terjadinya perubahan pada variabel respon (Y) dalam model (Sulistiyanto, 2016)

d. Uji parsial

Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah dalam suatu variabel prediktor (X) memiliki kontribusi terhadap variabel respon (Y). Dalam pengujian ini dilakukan secara terpisah kepada masing-masing variabel prediktor apakah secara signifikan memberikan kontribusinya ke variabel respon (Sulistiyanto, 2016)

Uji parsial ini menggunakan uji-t, yaitu:

Jika  $t_{hitung} > t_{tabel} (n-p)$ , maka variabel prediktor (X) tersebut memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel respon (Y).

dimana: n : banyaknya pengamatan

p : banyaknya parameter model regresi linier

## 2.5 Optimasi Respon

Optimasi merupakan usaha di dalam penelitian untuk mendapatkan level-level variabel faktor agar mendapatkan respon yang optimal. Untuk memperoleh nilai variabel faktor (kecepatan putar, beban aksial, beban radial) dalam mengoptimalkan gaya *rolling resistance* yang optimum (minimum) pada masing-masing diameter poros yang berbeda, maka dapat menggunakan metode respon permukaan dengan pendekatan fungsi *desirability*. Pendekatan fungsi *desirability* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi-respon. Adapun persamaannya adalah (Sulistiyanto, 2016):

$$D = [d_1(y_1)d_2(y_2) \dots d_p(y_p)]^{1/p} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dengan:

- D = *desirability* total
- $d_p$  = fungsi *desirability* masing-masing
- p = jumlah *output* yang diinginkan
- y = *transfer function* masing-masing

## 2.6 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah gaya *rolling resistance* di pengaruhi dari beberapa faktor, diantaranya yaitu kecepatan putar *bearing*, beban radial dan beban aksial. Untuk kecepatan putar *bearing* disuatu titik tertentu akan mempunyai titik lelah, sehingga pada kondisi itu *bearing* mempunyai gaya *rolling resistance* yang maksimum. Dan ketika kecepatan ditambah maka kualitas dari *bearing* untuk mendapatkan gaya *rolling resistance* akan menurun, serta diikuti dari pembebanan secara radial dan aksial. Karena semakin besar beban yang diterima akan mempengaruhi nilai *rolling resistance*.



## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu (3) bulan yaitu dimulai dari bulan April sampai dengan bulan Juni 2017 di Ruang Riset Mobil Listrik Universitas Jember untuk Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Jember.

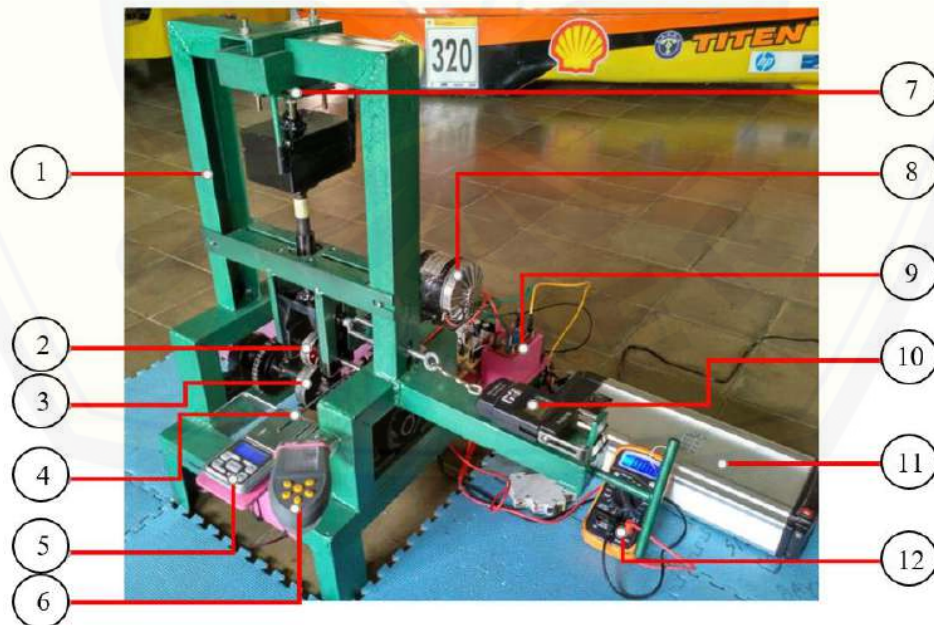
### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

##### a. Alat Uji *Rolling Resistance Bearing*

Alat Uji *Rolling Resistance Bearing* adalah alat yang digunakan untuk mengukur gaya tangensial dari *bearing*. Alat ini di desain dengan mengkombinasikan antara alat pengujian *bearing* sesuai standar ISO/IEC 17025, serta sebuah alat uji laboratorium untuk *rolling resistance* pada ban, dengan menggunakan drum sesuai standar ISO 8767 dan 9948.



Gambar 3.1 Alat Uji *Rolling Resistance* pada *Bearing*  
(Sumber: arsip pribadi)

Keterangan:

- |                            |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|
| 1. Rangka                  | 7. <i>Load Cell</i> 50 kg.      |
| 2. <i>Bearing</i> penguji. | 8. Motor DC.                    |
| 3. Poros Penggerak.        | 9. Rangkaian <i>Load Cell</i> . |
| 4. Tuas Gaya Tangensial.   | 10. Timbangan Gantung Digital.  |
| 5. Timbangan Emas.         | 11. Baterai <i>Lithium</i> .    |
| 6. <i>Tachometer</i>       | 12. <i>Multimeter</i>           |

b. Motor Listrik DC

Motor DC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan sumber tegangan DC. Motor DC atau motor arus searah sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung dan tidak langsung / *direct-unidirectional*. Motor DC digunakan untuk mengatur kecepatan pada variabel kecepatan putar *bearing*.



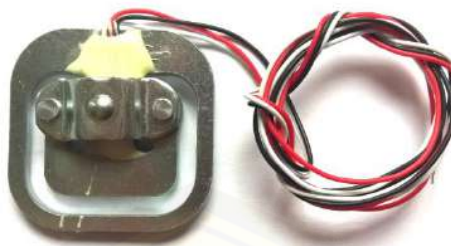
Gambar 3.2 Motor DC  
(Sumber: arsip pribadi)

Spesifikasi Motor DC Model MY1018:

- |                           |            |
|---------------------------|------------|
| 1) <i>Output</i>          | : 350W     |
| 2) <i>Rated speed</i>     | : 2750 RPM |
| 3) <i>Rated voltage</i>   | : 36V DC   |
| 4) <i>Rated current</i>   | : 12.5A    |
| 5) <i>Peak efficiency</i> | : 80 %     |

c. *Load Cell* kapasitas 50 kg

*Load cell* merupakan alat yang mengeluarkan signal listrik proporsional dengan gaya / beban yang diterimanya. *Load cell* banyak digunakan pada timbangan elektronik. Pada penelitian ini *load cell* digunakan untuk mengukur beban radial.



Gambar 3.3 *Load cell* kapasitas 50 kg.

(Sumber: arsip pribadi)

Spesifikasi *load cell* 50 kg (Catalogue, 2012)

- 1) Ukuran : 34 x 34 mm
- 2) Kapasitas : max 50 kg
- 3) *Sensitivitas output* : 1.0 +/- 15% mv/V

d. Timbangan Gantung Digital 50 kg

Timbangan gantung ini dapat menimbang berat bersih dengan cara menekan tombol *tare* terlebih dahulu, dan dapat mengunci hasil timbangan secara otomatis, jadi tidak buru-buru untuk mencatat hasil menimbanginya serta dilengkapi salah satu satuan ukur yang ada yaitu Kg, Jin, Lb, dan Oz. Timbangan gantung pada alat uji ini digunakan untuk mengukur beban aksial.



Gambar 3.4 Timbangan gantung digital 50 kg

(Sumber: arsip pribadi)

Spesifikasi timbangan gantung 50 kg:

- 1) Kapasitas maksimal : 50 Kg
- 2) Ukuran : 11 cm X 5.8 cm X 2.2 cm
- 3) Ketelitian : 10 gram / 0.01 Kg
- 4) *Brand* : *Weiheng*
- 5) Menggunakan 2 Buah Baterai

#### e. Timbangan Emas

Timbangan emas dengan ukuran kecil sehingga bisa masuk saku, dan sangat mudah untuk dioperasikan serta mudah untuk dibaca. Dalam timbangan emas juga dilengkapi dengan indikasi *low battery* dan *over load*, sehingga untuk perawatan timbangan emas ini lebih mudah. Dalam alat uji *rolling resistance*, timbangan emas ini digunakan untuk mengukur gaya tangensial, diperoleh dari putaran *inner bearing* yang dihubungkan dengan tuas, sehingga tuas tersebut dapat menyentuk timbangan tersebut.



Gambar 3.5 Timbangan Emas MH-200

(Sumber: arsip pribadi)

Spesifikasi timbangan emas MH-200:

- 1) Kapasitas : max 200gram- 0,01 gram
  - 2) Digital *scale pocket* : 200/0.01g
  - 3) Color : silver
  - 4) Scale size : 4.72" x 2.36" x 0.78"
  - 5) Battery : 2 AAA batteries
  - 6) LCD Screen
  - 7) *Stainless steel Platform*
- f. *Tachometer*

*Tachometer* adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit (RPM) dari poros engkol mesin



Gambar 3.6 Tachometer

(Sumber: arsip pribadi)

g. *Multimeter*

*Multimeter* adalah alat pengukur listrik yang juga dikenal sebagai VOM (Volt-Ohm Meter) yang dapat mengukur tegangan (Voltmeter), hambatan (Ohm), maupun arus (Amperemeter).



Gambar 3.7 *Multimeter digital*

(Sumber: arsip pribadi)

3.2.2 Bahan

Bantalan yang digunakan untuk pengujian yaitu *type single row deep groove ball bearing* (628, 6200 dan 6201) dengan masing-masing menggunakan C3. Dalam pengujian ini dilakukan tanpa di beri pelumas, sehingga setiap setelah diuji, *bearing* yang dipakai harus dibersihkan.

Tabel 3.1 Spesifikasi *deep groove ball bearing*

| Kode | Diameter          |                   |            | Berat (kg) |
|------|-------------------|-------------------|------------|------------|
|      | <i>Inner</i> (mm) | <i>Outer</i> (mm) | Tebal (mm) |            |
| 628  | 8                 | 24                | 8          | 0,037      |
| 6200 | 10                | 30                | 9          | 0,071      |
| 6201 | 12                | 32                | 10         | 0,082      |



Gambar 3.8 *Deep groove ball bearing*  
(Sumber: arsip pribadi)

### 3.3 Tahap Identifikasi Masalah

Pada tahap ini merupakan langkah awal dalam penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh adanya gaya aksial maupun gaya radial terhadap *rolling resistance*, untuk mendapatkan gaya *rolling* pada *single row deep groove ball bearing* sekecil mungkin. Tahap ini terdiri dari:

a. Survei Lapangan dan Identifikasi Variabel Faktor yang Berpengaruh

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi sebanyak-banyaknya yang berkaitan dengan mobil listrik dengan tujuan untuk riset efisiensi bahan bakar listrik sehingga dapat mengetahui obyek yang akan diteliti. Studi lapangan ini meliputi studi desain bodi, transmisi, proses produksi, serta karakteristik dan spesifikasi produk yang digunakan. Selain itu survei lapangan juga mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh dalam suatu penelitian. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang terdapat di mobil listrik, sehingga dari sini dapat dijadikan sebagai bahan penelitian.

b. Studi Pustaka

Pada tahap ini studi pustaka berfungsi sebagai mencari informasi yang dapat dijadikan sebagai sumber dari penelitian, dimana sumber tersebut diambil dari penelitian terdahulu, buku, jurnal, serta dari internet. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk memperoleh teori dan konsep yang sesuai, sehingga dapat dijadikan sebagai landasan atau kerangka berpikir dalam menjelaskan permasalahan untuk penelitian yang ada pada mobil listrik.

c. Perumusan Masalah dan Penentuan Tujuan Penelitian

Pada tahap ini yaitu melakukan perumusan suatu masalah dan menentukan tujuan dari penelitian. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh adanya kecepatan putar *outer race*, gaya aksial maupun gaya radial, terhadap *rolling resistance* untuk mendapatkan gaya *rolling* pada *single row deep groove ball bearing* sekecil mungkin. Sehingga dapat dijadikan sebagai landasan untuk pemilihan bantalan yang sesuai untuk suatu perlombaan mobil listrik *type prototype*.

d. Penentuan Variabel Faktor dan Level yang digunakan serta Variabel Respon

Dalam menentukan variable faktor maupun level terdapat variabel respon dan variabel faktor yang dapat mempengaruhi pengujian *rolling resistance* untuk mobil listrik *type prototype*. Dalam hal ini terdapat dua jenis variabel yaitu meliputi:

1) Variabel Respon (Variabel tak Bebas)

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

2) Variabel Faktor (Variabel Bebas)

Merupakan variabel yang dapat mempengaruhi terjadinya *rolling resistance*. Dari penelitian *rolling resistance* terdapat banyak variabel yang dapat mempengaruhi. Akan tetapi dalam penelitian ini, berdasarkan pertimbangan dari tujuan penelitian, penentuan faktor-faktor yang memberi pengaruh besar yaitu kecepatan putar pada *outer race*, gaya radial, dan gaya aksial.

3) Level yang digunakan

Menentukan level ini bertujuan untuk memperoleh batasan atau level dari variabel yang akan digunakan atau diamati dalam penelitian. Pada penelitian ini menggunakan metode *respon surface methodology* sehingga dalam asumsi level yang digunakan terdiri atas level bawah dengan kode (-1), level menengah dengan kode (0), dan level atas dengan kode (+1). Dalam menentukan level di masing-masing faktor atau parameter yang akan digunakan ini berdasarkan kebutuhan serta asumsi untuk riset bantalan pada mobil listrik *type prototype*. Level di setiap faktor atau parameter yang digunakan yaitu:

a) Penentuan level untuk kecepatan putar *bearing*

Dalam menentukan level kecepatan putar *bearing* yaitu berdasarkan regulasi SEM (*Shell Eco Marathon*) yaitu:

1) *Track length* : 1,19 km / lap kali 10 lap.

2) *Full lap / distance* : 11,82 km

3) *Time Limit* : 29,0 menit.

Dari hasil riset sebelumnya, mobil *prototype* mampu menyelesaikan dalam waktu 28 menit dengan kecepatan 30 km/jam, menghasilkan 72,12 Wh menggunakan bantuan alat ukur Joule meter, maka untuk merubah menjadi efisiensi maka di masukkan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{\text{Jarak (km)}}{\text{Hasil (kwh)}}$$

$$\eta = \frac{11,9 \text{ (km)}}{0,072 \text{ (kwh)}} = 165 \text{ km/kwh}$$

Efisiensi diatas dapat dicapai dengan menggunakan roda ring 10 = keliling 94 cm, maka untuk merubah ke satuan rpm, digunakan rumus sebagai berikut:

$$30 \text{ km/jam} = \frac{3000 \text{ m}}{60 \text{ menit}} = 500 \text{ m/menit (rpm)}$$

Untuk ring 10 = keliling 94 cm, maka:

$$\frac{500}{x} = \frac{0,94}{1} = 531,91 = 532 \text{ rpm}$$

Jadi untuk waktu 28 menit kecepatan putar pada roda yaitu 532 rpm.

Maka untuk waktu 29 menit yaitu 512 rpm, dan untuk waktu 27 menit yaitu 552 rpm. Pengambilan waktu berdasarkan hasil riset, dimana semakin cepat putaran maka tingkat efisiensi bahan bakar akan rendah. Oleh karena itu nilai level yang digunakan yaitu Level bawah (kode -1): 512 rpm, Level menengah (kode 0): 532 rpm, dan Level atas (kode +1): 552 rpm.

## b) Penentuan level untuk beban radial

Penentuan beban radial berdasarkan dari berat mobil ditambah berat pengemudi, dimana pada regulasi berat pengemudi minimal 50 kg. Pada saat ini berat mobil 37,4 kg. Sedangkan pada kategori lain untuk berat pengemudi minimal



yaitu 60 kg. Jadi untuk level beban, diasumsikan untuk perubahan dari berat pengemudi, yakni 50 kg, 55 kg dan 60 kg.

Jika level beban pengemudi di bawah 50 kg, maka akan mengurangi *point* dari regulasi yang telah ada, sedangkan apabila pengambilan level di atas 60 kg, maka akan mempengaruhi pada tingkat efisiensi bahan bakar. Untuk keseluruhan beban radial menggunakan 87,4 kg; 92,4 kg dan 97,4 kg. Apabila diuji setiap *bearing*, maka level beban dibagi 6 yaitu Level bawah (kode -1): 14,5 kg = 145 N, Level menengah (kode 0): 15,5 kg = 155 N, Level atas (kode +1): 16,5 kg = 165 N.

c) Penentuan level untuk beban aksial

Penentuan beban aksial di asumsikan pada waktu mobil berbelok, dimana pengambilan asumsi berdasarkan hasil riset yang telah dilakukan. Dengan radius belok yang paling ekstrim yaitu 10 m, dengan kecepatan yang sama yaitu pada kecepatan 30 km/jam. Maka untuk perhitungan beban aksial yaitu:

$$F_a = m \frac{V^2}{R}$$

$$F_{a1} = 14.5 \text{ kg} \frac{30^2}{1000} = 13.05 \text{ kg} = 13 \text{ kg} = 130 \text{ N}$$

$$F_{a2} = 15.5 \text{ kg} \frac{30^2}{1000} = 13.95 \text{ kg} = 14 \text{ kg} = 140 \text{ N}$$

$$F_{a1} = 16.5 \text{ kg} \frac{30^2}{1000} = 14.85 \text{ kg} = 15 \text{ kg} = 150 \text{ N}$$

Jadi untuk level yang digunakan untuk beban aksial yaitu Level bawah (kode -1): 130 N, Level menengah (kode 0): 140 N, Level atas (kode +1): 150 N.

Untuk lebih jelas penjabaran level dari variabel proses di atas dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.2 Level yang digunakan

| Faktor                  | Level Bawah | Level Menengah | Level Atas |
|-------------------------|-------------|----------------|------------|
| Kode                    | -1          | 0              | +1         |
| Kecepatan Putar Bearing | 512 rpm     | 532 rpm        | 552 rpm    |
| Beban Radial            | 145 N       | 155 N          | 165 N      |
| Beban Aksial            | 130 N       | 140 N          | 150 N      |

### 3.4 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Berdasarkan tahap identifikasi yang telah dilakukan, maka langkah-langkah untuk pemecahan masalah secara sistematis, terdiri dari:

#### a. Penentuan Desain Eksperimen

Tahap ini merupakan tahap perencanaan sebelum dilakukan eksperimen dengan tujuan agar percobaan yang dilakukan akan mencapai sasaran yang diinginkan. Tahap ini meliputi: identifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada respon, penentuan variabel faktor terhadap respon, penetapan level-level faktor, dan perencanaan eksperimen.

#### b. Pelaksanaan Ekperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan membuat variasi variabel faktor yang telah ditentukan terhadap respon. Berikut ini adalah langkah-langkah yang digunakan dalam prosedur melakukan eksperimen atau pengambilan:

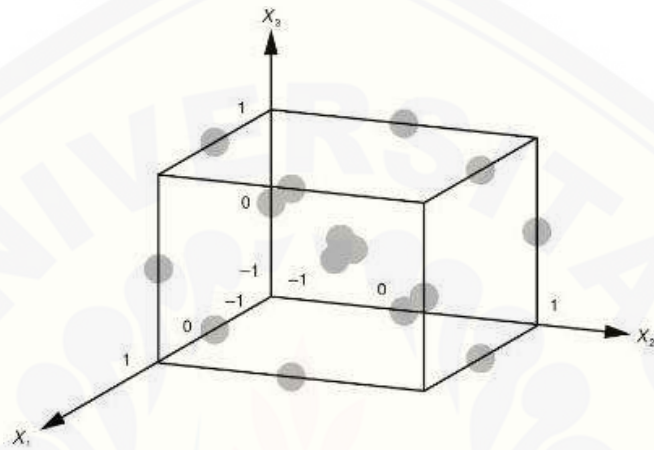
- 1) Memasang bantalan yang akan diuji pada rumah bantalan.
- 2) Putar mekanisme transmisi dengan posisi rumah bantalan menempel pada poros *input* tanpa ada beban. Kemudian catat nilai yang terukur pada timbangan yang mengukur gaya pada poros bantalan untuk mengetahui gaya rugi dari transmisi.
- 3) Mengatur beban radial sesuai riset awal yaitu 145 N.
- 4) Mengatur beban aksial sesuai riset awal yaitu 130 N.
- 5) Putar poros uji dengan putaran 532 rpm sambil mengamati perubahan yang terjadi pada timbangan.
- 6) Ulangi langkah (1) sampai dengan (5) dengan merubah nilai variabel kecepatan putar pada bantalan, beban radial, dan beban aksial sesuai dengan level-level rancangan percobaan.
- 7) Pengambilan sampel sebanyak 3 kali pengulangan.

#### c. Analisa Data dan Optimasi

Metode yang digunakan pada tahap ini adalah metode respon permukaan (*Response Surface Methodology*) dengan desain eksperimen *Box-Behnken*. Tahapan yang harus dilakukan pada analisa data dan optimasi adalah sebagai berikut:

1) Melakukan pengambilan data.

Metode pengambilan data dan kombinasi level berdasarkan rancangan *Box-Behnken Design*. Alasan memakai rancangan tersebut karena jumlah eksperimen yang dilakukan lebih sedikit sehingga data lebih efisien. Rancangan *Box-Behnken Design* dapat dilihat pada Tabel 3.2.



Gambar 3.9 Representasi *Box-Behnken design* BB3 (Mathews, 2005)

Tabel 3.3 Rancangan Pengujian *Rolling Resistance* dengan *Box-Behnken Design*

| No | Parameter Level |    |    | Parameter ( <i>Newton</i> ) |     |     | Hasil Gaya RR |     |     | Rata-rata |
|----|-----------------|----|----|-----------------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|-----------|
|    | KPB             | BR | BA | KPB                         | BR  | BA  | R 1           | R 2 | R 3 |           |
| 1  | -1              | -1 | 0  | 512                         | 145 | 140 |               |     |     |           |
| 2  | 1               | -1 | 0  | 552                         | 145 | 140 |               |     |     |           |
| 3  | -1              | 1  | 0  | 512                         | 165 | 140 |               |     |     |           |
| 4  | 1               | 1  | 0  | 552                         | 165 | 140 |               |     |     |           |
| 5  | -1              | 0  | -1 | 512                         | 155 | 130 |               |     |     |           |
| 6  | 1               | 0  | -1 | 552                         | 155 | 130 |               |     |     |           |
| 7  | -1              | 0  | 1  | 512                         | 155 | 150 |               |     |     |           |
| 8  | 1               | 0  | 1  | 552                         | 155 | 150 |               |     |     |           |
| 9  | 0               | -1 | -1 | 532                         | 145 | 130 |               |     |     |           |
| 10 | 0               | 1  | -1 | 532                         | 165 | 130 |               |     |     |           |
| 11 | 0               | -1 | 1  | 532                         | 145 | 150 |               |     |     |           |
| 12 | 0               | 1  | 1  | 532                         | 165 | 150 |               |     |     |           |
| 13 | 0               | 0  | 0  | 532                         | 155 | 140 |               |     |     |           |
| 14 | 0               | 0  | 0  | 532                         | 155 | 140 |               |     |     |           |
| 15 | 0               | 0  | 0  | 532                         | 155 | 140 |               |     |     |           |

\*R= Replikasi

## 2) Pembentukan model.

Pembentukan model ini adalah pembentukan model yang menyatakan hubungan variabel faktor dengan variabel respon yang dibentuk dari nilai koefisien penduga model regresi (model percobaan orde dua). Persamaan penduga untuk model regresi adalah sebagai berikut:

Jika  $k = 3$ , maka penduga untuk model orde kedua menjadi (Sulistiyanto, 2016):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{33}X_3^2 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien, langkah pertama yang dilakukan adalah mengolah data eksperimen menggunakan *software minitab16* sehingga didapatkan nilai koefisien. Kemudian nilai koefisien tersebut dimasukkan kedalam persamaan tersebut di atas.

## 3) Pengujian model.

Pengujian dilakukan dengan pengujian asumsi klasik IIDN ( $0, \alpha^2$ ). Pengujian tersebut antara lain uji identik, uji distribusi normal, dan uji multikolinieritas. Setelah dilakukan pengujian asumsi klasik dilakukan pengujian kesesuaian model. Pengujian yang dilakukan yaitu antara lain uji determinasi ( $R^2$ ), uji *lack of fit*, uji parameter serentak dan uji parsial.

## 4) Menentukan kondisi optimum dari model orde kedua yang sesuai.

Penentuan kondisi optimum dilakukan pendekatan fungsi *desirability* yang merupakan salah satu metode yang digunakan untuk optimasi multi respon.

### 3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian yaitu melakukan analisis dan *interpretasi* (tafsiran) terhadap hasil pengolahan data eksperimen. Dengan analisis dan *interpretasi* tersebut dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai jawaban atas permasalahan yang telah dirumuskan. Selain itu juga diberikan saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

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

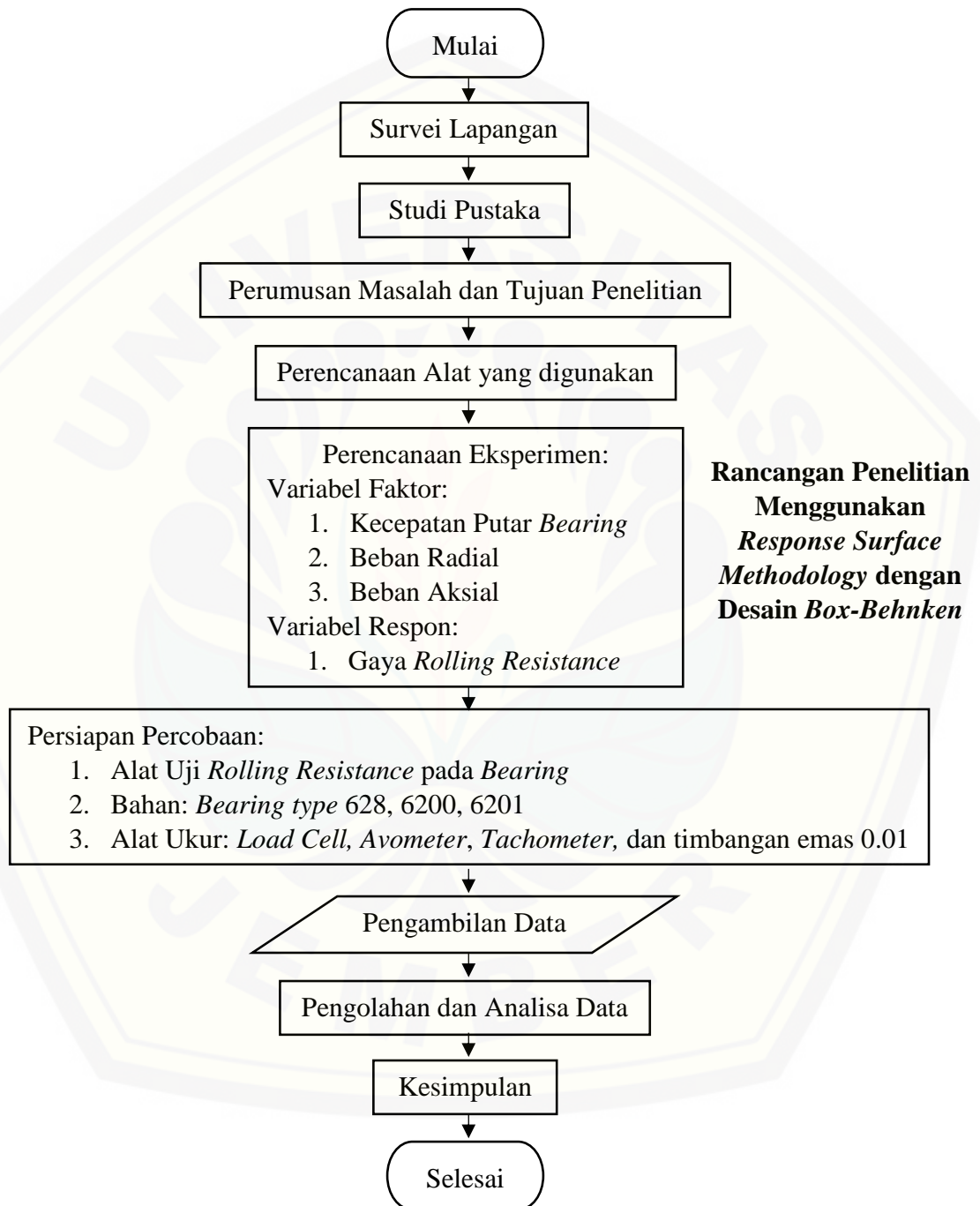


Diagram 3.1 Diagram alir penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

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

- a. Berdasarkan analisis dari pengolahan data menggunakan software minitab 16, didapatkan bahwa nilai gaya *rolling resistance* akan semakin meningkat dengan bertambahnya gaya, dari luasan kontak pada *ball bearing*, dan besarnya momen inersia serta *bearing* akan mengalami kerugian ketika mendapatkan putaran yang terlalu tinggi. Pada *bearing* 6200 dan 6201 semua variabel prediktor mempunyai pengaruh lebih besar terhadap gaya *rolling resistance*. Sedangkan pada *bearing* 628 untuk variabel kecepatan putar bearing mempunyai pengaruh yang sangat kecil. Pada analisis yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa secara individu variabel proses yang paling berpengaruh terhadap gaya *rolling resistance* adalah beban radial.
- b. Hasil pengujian *rolling resistance* dari ketiga jenis *bearing*, dianalisis dengan menggunakan metode statistik didapatkan nilai yang optimum dengan mengatur kecepatan putar *bearing* pada 549,1717 rpm, beban radial sebesar 145 N dan beban aksial sebesar 130 N, diperoleh gaya *rolling resistance* pada *bearing* 628 sebesar 0,1148 N, pada *bearing* 6200 sebesar 0,1220 N dan pada *bearing* 6201 sebesar 0,2511 N.

### 5.2 Saran

Dalam pengujian *rolling resistance* pada *type single row deep groove ball bearing*, untuk hasil variabel kecepatan putar *bearing*, beban radial dan beban aksial, hanyalah sebagai patokan untuk pengujian selanjutnya. Dalam kasus ini *type bearing* juga berpengaruh dalam *rolling resistance*, mulai dari luasan kontak *ball bearing* terhadap rumahnya serta jenis *ball* dalam *bearing*. Selain itu dari pelumasan, getaran, material *bearing*, umur pemakaian dll, juga mempengaruhi *rolling resistance*. Untuk penelitian selanjutnya diperlukan untuk meneliti tentang *type bearing*, pelumasan, material *bearing* umur pemakaian dll secara bertahap.

Dari penelitian ini dapat dijadikan suatu patokan untuk penelitian selanjutnya dan dapat diambil variabel yang sudah optimum atau bisa juga melakukan penambahan parameter maupun level pada penelitian.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Catalogue, 3. (2012). *Micro Load Cell (0-5kg)*.
- Catalogue, S. (2013). *Rolling Bearing*. Swedia: SKF.
- Fauzi, H. (2013). ANALISIS TEGANGAN PADA FRAME MOBIL LISTRIK SINOSI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA . *Nasional*, 1.
- Hamid Taghavifar, A. M. (2014). Wavelet neural network applied for prognostication of contact pressure between soil and driving wheel. *Sciadirect*.
- Hanwa, F. (2001). *KBC Rolling Bearing*. FAG HANWHA Bearings Corp.
- I. M. Jamadar, D. D. (2015). *Model Development for Investigation of Localized Defects in Taper Roller Bearings Using Matrix Method of Dimensional Analysis* . *Sciencedirect*.
- Ir. Sularso, M. (1997). *DASAR PERENCANAAN DAN PEMILIHAN ELEMEN MESIN*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Jose L. Gomez, A. B. (2016). *Modelling Deep Groove Ball Bearing localized defects inducing Instantaneous Angular Speed variations*. *sciencedirect*.
- Juhala, M. (2014). *Improving vehicle rolling resistance and aerodynamics*. *Sciadirect*, 466-467.
- M. Juhala, a. u. (2014). *Improving vehicle rolling resistance and aerodynamics*. *Sciencedirect*.
- Mathews, P. G. (2005). *Design of Experiments with MINITAB*. American Society: William A. Tony.
- Meifal Rusli, A. A. (2015). Kaji Banding Prediksi Kerusakan Pada Bantalan Gelinding Melalui Sinyal Getaran Dan Sinyal Suara . *Nasional*.
- Muttaqin, M. M. (2015). Pengaruh Tekanan Udara (Infation Preassure) Pada Ban Tipe Radial Ply Terhadap Rolling Resistance. *Nasional*.
- N. Aslan, Y. C. (2006). *Application of Box–Behnken design and response surface methodology for modeling of some Turkish coals*. *Sciencedirect*.
- Nuryanti, D. H. (2008). METODE PERMUKAAN RESPON DAN APLIKASINYA PADA OPTIMASI EKSPERIMEN KIMIA. *Nasional*, 374.



- Raymond H. Myers, D. C.-C. (2011). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using*. Canada: John Wiley & Sons.
- SKF. (2012). *Railway technical handbook Volume 1 Axleboxes, wheelset bearings, sensors, condition monitoring, subsystems and services*. Rusia: PUB 42/P2 12788 EN.
- Sularso. (1997). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sulistiyanto, D. (2016). ANALISIS PARAMETER INJECTION MOULDING TERHADAP WAKTU SIKLUS TUTUP BOTOL 500 ML MENGGUNAKAN DESAIN BOX-BEHNKEN. *Nasional*.
- Sutantra. (2010). *Teknologi Otomotif*. Surabaya: PTS.
- Walter, A. G. (2005). *The Pneumatic Tire*. Waashington, D.C: National Highway Traffic Safety Administration U.S. Departemen Of Transportation.

LAMPIRAN

Lampiran A. Gaya Tangensial Tanpa Pembebanan *Bearing* ( $F_{10}$ )

Tabel A.1 Gaya tangensial dari *bearing* tipe 628

| No                     | 512    |        |           | 532    |        |           | 552    |        |           |  |
|------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--|
|                        | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata |  |
| 1                      | 3.44   | 3.57   | 3.51      | 3.48   | 3.57   | 3.53      | 3.44   | 3.66   | 3.55      |  |
| 2                      | 3.55   | 3.71   | 3.63      | 3.63   | 3.72   | 3.68      | 3.66   | 3.82   | 3.74      |  |
| 3                      | 3.59   | 3.76   | 3.68      | 3.06   | 3.78   | 3.42      | 3.20   | 3.76   | 3.48      |  |
| 4                      | 3.53   | 3.66   | 3.60      | 3.42   | 3.75   | 3.59      | 3.56   | 3.72   | 3.64      |  |
| 5                      | 2.97   | 3.54   | 3.26      | 2.64   | 3.01   | 2.83      | 2.27   | 2.69   | 2.48      |  |
| 6                      | 2.80   | 3.40   | 3.10      | 2.82   | 3.02   | 2.92      | 2.63   | 2.97   | 2.80      |  |
| Rata-rata tiap bearing |        |        | 3.46      |        |        |           | 3.33   |        |           |  |

Tabel A.2 Gaya tangensial dari *bearing* tipe 6200

| No                     | 512    |        |           | 532    |        |           | 552    |        |           |  |
|------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--|
|                        | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata |  |
| 1                      | 3.97   | 4.33   | 4.15      | 3.98   | 4.31   | 4.15      | 3.99   | 4.27   | 4.13      |  |
| 2                      | 3.91   | 4.50   | 4.21      | 4.00   | 4.32   | 4.16      | 3.96   | 4.30   | 4.13      |  |
| 3                      | 3.93   | 4.28   | 4.11      | 3.86   | 4.19   | 4.03      | 3.84   | 4.16   | 4.00      |  |
| 4                      | 4.14   | 4.56   | 4.35      | 4.09   | 4.34   | 4.22      | 4.04   | 4.28   | 4.16      |  |
| 5                      | 3.88   | 4.10   | 3.99      | 3.89   | 4.03   | 3.96      | 3.90   | 4.00   | 3.95      |  |
| 6                      | 4.07   | 4.48   | 4.28      | 4.02   | 4.33   | 4.18      | 4.01   | 4.31   | 4.16      |  |
| Rata-rata tiap bearing |        |        | 4.18      |        |        |           | 4.11   |        |           |  |

Tabel A.3 Gaya tangensial dari *bearing* tipe 6201

| No                     | 512    |        |           | 532    |        |           | 552    |        |           |  |
|------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--|
|                        | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata |  |
| 1                      | 4.13   | 4.25   | 4.19      | 4.07   | 4.15   | 4.11      | 4.04   | 4.13   | 4.09      |  |
| 2                      | 3.76   | 4.58   | 4.17      | 3.02   | 4.99   | 4.01      | 3.81   | 4.38   | 4.10      |  |
| 3                      | 4.09   | 4.20   | 4.15      | 4.13   | 4.91   | 4.52      | 3.99   | 4.08   | 4.04      |  |
| 4                      | 4.02   | 4.36   | 4.19      | 4.25   | 4.26   | 4.26      | 3.88   | 4.36   | 4.12      |  |
| 5                      | 4.23   | 4.77   | 4.50      | 3.74   | 4.11   | 3.93      | 3.09   | 4.14   | 3.62      |  |
| 6                      | 3.91   | 4.56   | 4.235     | 4.18   | 4.25   | 4.22      | 3.76   | 5.84   | 4.80      |  |
| Rata-rata tiap bearing |        |        | 4.24      |        |        |           | 4.17   |        |           |  |

Lampiran B. Gaya Tangensial Setelah Pembebanan (Ft<sub>1</sub>)Tabel B.1 Gaya tangensial dari *bearing* tipe 628

| NO | Level |    |    | Parameter |        |        | Hasil Gaya dari Bearing 628 (gram) |        |           |        |        |           |        |        |           |                          |
|----|-------|----|----|-----------|--------|--------|------------------------------------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------------------------|
|    | KPB   | BR | BA | KPC (N)   | BR (N) | BA (N) | R1                                 |        |           | R2     |        |           | R3     |        |           | Rata-Rata<br>Keseluruhan |
|    |       |    |    |           |        |        | Rendah                             | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata |                          |
| 1  | -1    | -1 | 0  | 512       | 145    | 140    | 8.52                               | 12.38  | 10.45     | 8.45   | 13.21  | 10.83     | 8.60   | 11.95  | 10.28     | 10.51833333              |
| 2  | 1     | -1 | 0  | 552       | 145    | 140    | 8.23                               | 12.24  | 10.24     | 8.15   | 12.45  | 10.30     | 8.58   | 11.80  | 10.19     | 10.24166667              |
| 3  | -1    | 1  | 0  | 512       | 165    | 140    | 10.28                              | 15.15  | 12.72     | 9.98   | 15.09  | 12.54     | 10.38  | 14.86  | 12.62     | 12.62333333              |
| 4  | 1     | 1  | 0  | 552       | 165    | 140    | 9.79                               | 14.95  | 12.37     | 9.96   | 15.40  | 12.68     | 10.21  | 15.06  | 12.64     | 12.56166667              |
| 5  | -1    | 0  | -1 | 512       | 155    | 130    | 9.03                               | 14.35  | 11.69     | 9.18   | 14.86  | 12.02     | 9.46   | 14.29  | 11.88     | 11.86166667              |
| 6  | 1     | 0  | -1 | 552       | 155    | 130    | 8.84                               | 14.32  | 11.58     | 8.70   | 14.61  | 11.66     | 9.21   | 13.93  | 11.57     | 11.60166667              |
| 7  | -1    | 0  | 1  | 512       | 155    | 150    | 9.14                               | 15.10  | 12.12     | 9.63   | 15.67  | 12.65     | 10.02  | 14.90  | 12.46     | 12.41000000              |
| 8  | 1     | 0  | 1  | 552       | 155    | 150    | 8.94                               | 14.45  | 11.70     | 8.81   | 14.74  | 11.78     | 9.15   | 14.38  | 11.77     | 11.74500000              |
| 9  | 0     | -1 | -1 | 532       | 145    | 130    | 8.12                               | 12.14  | 10.13     | 8.13   | 12.58  | 10.36     | 8.41   | 11.99  | 10.20     | 10.22833333              |
| 10 | 0     | 1  | -1 | 532       | 165    | 130    | 9.91                               | 14.28  | 12.10     | 9.37   | 14.07  | 11.72     | 9.80   | 13.22  | 11.51     | 11.77500000              |
| 11 | 0     | -1 | 1  | 532       | 145    | 150    | 8.38                               | 13.28  | 10.83     | 8.44   | 13.46  | 10.95     | 8.79   | 12.82  | 10.81     | 10.86166667              |
| 12 | 0     | 1  | 1  | 532       | 165    | 150    | 10.25                              | 15.3   | 12.78     | 10.14  | 15.52  | 12.83     | 10.82  | 14.97  | 12.90     | 12.83333333              |
| 13 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 9.66                               | 13.59  | 11.63     | 9.89   | 14.27  | 12.08     | 9.88   | 13.22  | 11.55     | 11.75166667              |
| 14 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 10.06                              | 14.27  | 12.17     | 9.43   | 14.45  | 11.94     | 9.66   | 13.24  | 11.45     | 11.85166667              |
| 15 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 9.84                               | 14.06  | 11.95     | 9.42   | 13.97  | 11.70     | 9.59   | 13.15  | 11.37     | 11.67166667              |

Tabel B.2 Gaya tangensial dari *bearing* tipe 6200

| NO | Level |    |    | Parameter |        |        | Hasil Gaya dari Bearing 6200 |        |           |        |        |           |        |        |           |             |
|----|-------|----|----|-----------|--------|--------|------------------------------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|-------------|
|    | KPB   | BR | BA | KPC (N)   | BR (N) | BA (N) | R1                           |        |           | R2     |        |           | R3     |        |           | Rata-Rata   |
|    |       |    |    |           |        |        | Rendah                       | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Keseluruhan |
| 1  | -1    | -1 | 0  | 512       | 145    | 140    | 10.63                        | 13.51  | 12.07     | 11.43  | 12.97  | 12.20     | 11.04  | 13.23  | 12.14     | 12.13500000 |
| 2  | 1     | -1 | 0  | 552       | 145    | 140    | 10.25                        | 13.37  | 11.81     | 10.39  | 12.22  | 11.31     | 11.89  | 13.08  | 12.49     | 11.86666667 |
| 3  | -1    | 1  | 0  | 512       | 165    | 140    | 13.84                        | 15.15  | 14.50     | 13.51  | 14.81  | 14.16     | 13.33  | 15.21  | 14.27     | 14.30833333 |
| 4  | 1     | 1  | 0  | 552       | 165    | 140    | 14.26                        | 15.52  | 14.89     | 11.41  | 12.85  | 12.13     | 12.41  | 15.42  | 13.92     | 13.64500000 |
| 5  | -1    | 0  | -1 | 512       | 155    | 130    | 11.96                        | 14.35  | 13.16     | 12.42  | 14.58  | 13.50     | 12.15  | 14.63  | 13.39     | 13.34833333 |
| 6  | 1     | 0  | -1 | 552       | 155    | 130    | 11.71                        | 14.32  | 13.02     | 11.78  | 14.34  | 13.06     | 11.82  | 14.26  | 13.04     | 13.03833333 |
| 7  | -1    | 0  | 1  | 512       | 155    | 150    | 12.10                        | 14.53  | 13.32     | 14.98  | 15.38  | 15.18     | 12.86  | 15.25  | 14.06     | 14.18333333 |
| 8  | 1     | 0  | 1  | 552       | 155    | 150    | 11.84                        | 14.45  | 13.15     | 11.93  | 14.46  | 13.20     | 11.75  | 14.72  | 13.24     | 13.19166667 |
| 9  | 0     | -1 | -1 | 532       | 145    | 130    | 11.07                        | 12.71  | 11.89     | 10.81  | 11.78  | 11.30     | 11.18  | 12.27  | 11.73     | 11.63666667 |
| 10 | 0     | 1  | -1 | 532       | 165    | 130    | 13.12                        | 14.28  | 13.70     | 12.68  | 13.81  | 13.25     | 12.58  | 13.53  | 13.06     | 13.33333333 |
| 11 | 0     | -1 | 1  | 532       | 145    | 150    | 11.10                        | 13.28  | 12.19     | 11.42  | 12.64  | 12.03     | 11.29  | 13.12  | 12.21     | 12.14166667 |
| 12 | 0     | 1  | 1  | 532       | 165    | 150    | 13.54                        | 15.56  | 14.55     | 13.72  | 15.23  | 14.48     | 13.89  | 15.32  | 14.61     | 14.54333333 |
| 13 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 12.79                        | 13.59  | 13.19     | 13.39  | 14.54  | 13.97     | 12.69  | 13.53  | 13.11     | 13.42166667 |
| 14 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 13.32                        | 14.27  | 13.80     | 12.74  | 14.18  | 13.46     | 12.98  | 13.35  | 13.17     | 13.47333333 |
| 15 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 13.03                        | 14.06  | 13.55     | 12.75  | 13.71  | 13.23     | 12.78  | 13.59  | 13.19     | 13.32000000 |

Tabel B.3 Gaya tangensial dari *bearing* tipe 6201

| NO | Level |    |    | Parameter |        |        | Hasil Gaya dari Bearing 6201 |        |           |        |        |           |        |        |           |             |
|----|-------|----|----|-----------|--------|--------|------------------------------|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-----------|-------------|
|    | KPB   | BR | BA | KPC (N)   | BR (N) | BA (N) | R1                           |        |           | R2     |        |           | R3     |        |           | Rata-Rata   |
|    |       |    |    |           |        |        | Rendah                       | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Rendah | Tinggi | Rata-rata | Keseluruhan |
| 1  | -1    | -1 | 0  | 512       | 145    | 140    | 17.04                        | 23.88  | 20.46     | 17.18  | 22.92  | 20.05     | 17.07  | 21.62  | 19.35     | 19.95166667 |
| 2  | 1     | -1 | 0  | 552       | 145    | 140    | 16.85                        | 23.63  | 20.24     | 16.07  | 21.68  | 18.88     | 16.84  | 21.35  | 19.10     | 19.40333333 |
| 3  | -1    | 1  | 0  | 512       | 165    | 140    | 21.42                        | 26.78  | 24.10     | 20.89  | 26.18  | 23.54     | 20.61  | 26.88  | 23.75     | 23.79333333 |
| 4  | 1     | 1  | 0  | 552       | 165    | 140    | 20.05                        | 26.03  | 23.04     | 19.34  | 25.71  | 22.53     | 19.18  | 26.15  | 22.67     | 22.74333333 |
| 5  | -1    | 0  | -1 | 512       | 155    | 130    | 18.50                        | 25.36  | 21.93     | 19.21  | 25.77  | 22.49     | 18.79  | 25.86  | 22.33     | 22.24833333 |
| 6  | 1     | 0  | -1 | 552       | 155    | 130    | 18.31                        | 25.31  | 21.81     | 18.29  | 25.34  | 21.82     | 18.28  | 25.29  | 21.79     | 21.80333333 |
| 7  | -1    | 0  | 1  | 512       | 155    | 150    | 18.71                        | 25.68  | 22.20     | 23.17  | 27.18  | 25.18     | 19.89  | 26.95  | 23.42     | 23.59666667 |
| 8  | 1     | 0  | 1  | 552       | 155    | 150    | 18.31                        | 25.54  | 21.93     | 18.45  | 25.56  | 22.01     | 18.17  | 26.02  | 22.10     | 22.00833333 |
| 9  | 0     | -1 | -1 | 532       | 145    | 130    | 16.12                        | 22.46  | 19.29     | 16.72  | 21.82  | 19.27     | 16.29  | 21.69  | 18.99     | 19.18333333 |
| 10 | 0     | 1  | -1 | 532       | 165    | 130    | 20.29                        | 25.24  | 22.77     | 19.61  | 24.41  | 22.01     | 19.45  | 23.91  | 21.68     | 22.15166667 |
| 11 | 0     | -1 | 1  | 532       | 145    | 150    | 17.17                        | 23.47  | 20.32     | 17.66  | 23.34  | 20.50     | 17.46  | 23.19  | 20.33     | 20.38166667 |
| 12 | 0     | 1  | 1  | 532       | 165    | 150    | 20.94                        | 27.54  | 24.24     | 21.22  | 26.92  | 24.07     | 21.18  | 27.08  | 24.13     | 24.14666667 |
| 13 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 20.78                        | 24.02  | 22.40     | 20.71  | 24.07  | 22.39     | 20.62  | 23.91  | 22.27     | 22.35166667 |
| 14 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 20.61                        | 25.22  | 22.92     | 19.70  | 25.06  | 22.38     | 20.07  | 23.60  | 21.84     | 22.37666667 |
| 15 | 0     | 0  | 0  | 532       | 155    | 140    | 20.15                        | 24.85  | 22.50     | 19.72  | 24.23  | 21.98     | 19.04  | 25.79  | 22.42     | 22.29666667 |

**Lampiran C. Analisis gaya rolling resistance menggunakan Response Surface**

**Methodology**

**Data C1. Analisis gaya rolling resistance pada bearing type 628**

**Box-Behnken Design**

Factors: 3 Replicates: 1  
 Base runs: 15 Total runs: 15  
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Center points: 3

Design Table

| Run | Blk | A | B | C |
|-----|-----|---|---|---|
| 1   | 1   | - | - | 0 |
| 2   | 1   | + | - | 0 |
| 3   | 1   | - | + | 0 |
| 4   | 1   | + | + | 0 |
| 5   | 1   | - | 0 | - |
| 6   | 1   | + | 0 | - |
| 7   | 1   | - | 0 | + |
| 8   | 1   | + | 0 | + |
| 9   | 1   | 0 | - | - |
| 10  | 1   | 0 | + | - |
| 11  | 1   | 0 | - | + |
| 12  | 1   | 0 | + | + |
| 13  | 1   | 0 | 0 | 0 |
| 14  | 1   | 0 | 0 | 0 |
| 15  | 1   | 0 | 0 | 0 |

**Response Surface Regression: Gaya Rolling Resistance versus KPB, BR, BA**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Gaya Rolling Resistance

| Term     | Coef      | SE Coef  | T      | P     |
|----------|-----------|----------|--------|-------|
| Constant | 0.142444  | 0.002089 | 68.175 | 0.000 |
| KPB      | -0.001525 | 0.001279 | -1.192 | 0.287 |
| BR       | 0.015884  | 0.001279 | 12.415 | 0.000 |
| BA       | 0.004727  | 0.001279 | 3.694  | 0.014 |
| KPB*KPB  | 0.000146  | 0.001883 | 0.078  | 0.941 |
| BR*BR    | -0.007038 | 0.001883 | -3.737 | 0.013 |
| BA*BA    | -0.000365 | 0.001883 | -0.194 | 0.854 |
| KPB*BR   | 0.001687  | 0.001809 | 0.932  | 0.394 |
| KPB*BA   | -0.001846 | 0.001809 | -1.020 | 0.354 |
| BR*BA    | 0.001397  | 0.001809 | 0.772  | 0.475 |

S = 0.00361890 PRESS = 0.000940735  
 R-Sq = 97.38% R-Sq(pred) = 62.35% R-Sq(adj) = 92.66%

Analysis of Variance for Gaya Rolling Resistance

| Source         | DF | Seq SS   | Adj SS   | Adj MS   | F      | P     |
|----------------|----|----------|----------|----------|--------|-------|
| Regression     | 9  | 0.002433 | 0.002433 | 0.000270 | 20.64  | 0.002 |
| Linear         | 3  | 0.002216 | 0.002216 | 0.000739 | 56.40  | 0.000 |
| KPB            | 1  | 0.000019 | 0.000019 | 0.000019 | 1.42   | 0.287 |
| BR             | 1  | 0.002018 | 0.002018 | 0.002018 | 154.12 | 0.000 |
| BA             | 1  | 0.000179 | 0.000179 | 0.000179 | 13.65  | 0.014 |
| Square         | 3  | 0.000185 | 0.000185 | 0.000062 | 4.70   | 0.064 |
| KPB*KPB        | 1  | 0.000002 | 0.000000 | 0.000000 | 0.01   | 0.941 |
| BR*BR          | 1  | 0.000183 | 0.000183 | 0.000183 | 13.97  | 0.013 |
| BA*BA          | 1  | 0.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.04   | 0.854 |
| Interaction    | 3  | 0.000033 | 0.000033 | 0.000011 | 0.84   | 0.529 |
| KPB*BR         | 1  | 0.000011 | 0.000011 | 0.000011 | 0.87   | 0.394 |
| KPB*BA         | 1  | 0.000014 | 0.000014 | 0.000014 | 1.04   | 0.354 |
| BR*BA          | 1  | 0.000008 | 0.000008 | 0.000008 | 0.60   | 0.475 |
| Residual Error | 5  | 0.000065 | 0.000065 | 0.000013 |        |       |
| Lack-of-Fit    | 3  | 0.000058 | 0.000058 | 0.000019 | 4.94   | 0.173 |
| Pure Error     | 2  | 0.000008 | 0.000008 | 0.000004 |        |       |
| Total          | 14 | 0.002499 |          |          |        |       |

| Obs | StdOrder | Gaya Rolling Resistance | Fit   | SE Fit | Residual | St Resid |
|-----|----------|-------------------------|-------|--------|----------|----------|
| 1   | 1        | 0.119                   | 0.123 | 0.004  | -0.003   | -1.56    |
| 2   | 2        | 0.118                   | 0.118 | 0.004  | -0.001   | -0.33    |
| 3   | 3        | 0.155                   | 0.154 | 0.004  | 0.001    | 0.33     |
| 4   | 4        | 0.157                   | 0.154 | 0.004  | 0.003    | 1.56     |
| 5   | 5        | 0.142                   | 0.139 | 0.004  | 0.003    | 1.66     |
| 6   | 6        | 0.141                   | 0.140 | 0.004  | 0.001    | 0.43     |
| 7   | 7        | 0.151                   | 0.152 | 0.004  | -0.001   | -0.43    |
| 8   | 8        | 0.143                   | 0.147 | 0.004  | -0.003   | -1.66    |
| 9   | 9        | 0.117                   | 0.117 | 0.004  | -0.000   | -0.10    |
| 10  | 10       | 0.143                   | 0.147 | 0.004  | -0.004   | -1.99    |
| 11  | 11       | 0.128                   | 0.124 | 0.004  | 0.004    | 1.99     |
| 12  | 12       | 0.161                   | 0.161 | 0.004  | 0.000    | 0.10     |
| 13  | 13       | 0.143                   | 0.143 | 0.002  | -0.000   | -0.03    |
| 14  | 14       | 0.144                   | 0.143 | 0.002  | 0.002    | 0.48     |
| 15  | 15       | 0.141                   | 0.143 | 0.002  | -0.001   | -0.44    |

Estimated Regression Coefficients for Gaya Rolling Resistance using data in uncoded units

| Term     | Coef         |
|----------|--------------|
| Constant | -1.47723     |
| KPB      | -4.80706E-04 |
| BR       | 0.0169639    |
| BA       | 0.00424180   |
| KPB*KPB  | 3.65823E-07  |
| BR*BR    | -7.03850E-05 |
| BA*BA    | -3.65371E-06 |
| KPB*BR   | 8.43650E-06  |
| KPB*BA   | -9.23163E-06 |
| BR*BA    | 1.39685E-05  |

**Data C2. Analisis gaya rolling resistance pada bearing type 6200**

**Box-Behnken Design**

Factors: 3 Replicates: 1  
 Base runs: 15 Total runs: 15  
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Center points: 3

Design Table

| Run | Blk | A | B | C |
|-----|-----|---|---|---|
| 1   | 1   | - | - | 0 |
| 2   | 1   | + | - | 0 |
| 3   | 1   | - | + | 0 |
| 4   | 1   | + | + | 0 |
| 5   | 1   | - | 0 | - |
| 6   | 1   | + | 0 | - |
| 7   | 1   | - | 0 | + |
| 8   | 1   | + | 0 | + |
| 9   | 1   | 0 | - | - |
| 10  | 1   | 0 | + | - |
| 11  | 1   | 0 | - | + |
| 12  | 1   | 0 | + | + |
| 13  | 1   | 0 | 0 | 0 |
| 14  | 1   | 0 | 0 | 0 |
| 15  | 1   | 0 | 0 | 0 |

**Response Surface Regression: Gaya Rolling Resistance versus KPB, BR, BA**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Gaya Rolling Resistance

| Term     | Coef      | SE Coef  | T      | P     |
|----------|-----------|----------|--------|-------|
| Constant | 0.155069  | 0.001621 | 95.659 | 0.000 |
| KPB      | -0.006752 | 0.000993 | -6.801 | 0.001 |
| BR       | 0.016621  | 0.000993 | 16.743 | 0.000 |
| BA       | 0.006224  | 0.000993 | 6.269  | 0.002 |
| KPB*KPB  | -0.001395 | 0.001461 | -0.955 | 0.383 |
| BR*BR    | -0.012225 | 0.001461 | -8.366 | 0.000 |
| BA*BA    | 0.001114  | 0.001461 | 0.763  | 0.480 |
| KPB*BR   | -0.002234 | 0.001404 | -1.591 | 0.172 |
| KPB*BA   | -0.004315 | 0.001404 | -3.074 | 0.028 |
| BR*BA    | 0.002130  | 0.001404 | 1.517  | 0.190 |

S = 0.00280776 PRESS = 0.000362576  
 R-Sq = 98.91% R-Sq(pred) = 89.94% R-Sq(adj) = 96.94%

Analysis of Variance for Gaya Rolling Resistance

| Source     | DF | Seq SS   | Adj SS   | Adj MS   | F      | P     |
|------------|----|----------|----------|----------|--------|-------|
| Regression | 9  | 0.003566 | 0.003566 | 0.000396 | 50.26  | 0.000 |
| Linear     | 3  | 0.002885 | 0.002885 | 0.000962 | 121.96 | 0.000 |



|                |    |          |          |          |        |       |
|----------------|----|----------|----------|----------|--------|-------|
| KPB            | 1  | 0.000365 | 0.000365 | 0.000365 | 46.26  | 0.001 |
| BR             | 1  | 0.002210 | 0.002210 | 0.002210 | 280.33 | 0.000 |
| BA             | 1  | 0.000310 | 0.000310 | 0.000310 | 39.31  | 0.002 |
| Square         | 3  | 0.000569 | 0.000569 | 0.000190 | 24.05  | 0.002 |
| KPB*KPB        | 1  | 0.000001 | 0.000007 | 0.000007 | 0.91   | 0.383 |
| BR*BR          | 1  | 0.000563 | 0.000552 | 0.000552 | 70.00  | 0.000 |
| BA*BA          | 1  | 0.000005 | 0.000005 | 0.000005 | 0.58   | 0.480 |
| Interaction    | 3  | 0.000113 | 0.000113 | 0.000038 | 4.76   | 0.063 |
| KPB*BR         | 1  | 0.000020 | 0.000020 | 0.000020 | 2.53   | 0.172 |
| KPB*BA         | 1  | 0.000074 | 0.000074 | 0.000074 | 9.45   | 0.028 |
| BR*BA          | 1  | 0.000018 | 0.000018 | 0.000018 | 2.30   | 0.190 |
| Residual Error | 5  | 0.000039 | 0.000039 | 0.000008 |        |       |
| Lack-of-Fit    | 3  | 0.000020 | 0.000020 | 0.000007 | 0.68   | 0.641 |
| Pure Error     | 2  | 0.000019 | 0.000019 | 0.000010 |        |       |
| Total          | 14 | 0.003605 |          |          |        |       |

| Gaya Rolling |          |            |       |        |          |    |       |
|--------------|----------|------------|-------|--------|----------|----|-------|
| Obs          | StdOrder | Resistance | Fit   | SE Fit | Residual | St | Resid |
| 1            | 1        | 0.135      | 0.135 | 0.002  | -0.000   |    | -0.40 |
| 2            | 2        | 0.132      | 0.131 | 0.002  | 0.001    |    | 0.92  |
| 3            | 3        | 0.171      | 0.173 | 0.002  | -0.001   |    | -0.92 |
| 4            | 4        | 0.162      | 0.161 | 0.002  | 0.000    |    | 0.40  |
| 5            | 5        | 0.155      | 0.153 | 0.002  | 0.002    |    | 1.96  |
| 6            | 6        | 0.151      | 0.151 | 0.002  | 0.001    |    | 0.64  |
| 7            | 7        | 0.169      | 0.170 | 0.002  | -0.001   |    | -0.64 |
| 8            | 8        | 0.154      | 0.156 | 0.002  | -0.002   |    | -1.96 |
| 9            | 9        | 0.127      | 0.129 | 0.002  | -0.002   |    | -1.56 |
| 10           | 10       | 0.156      | 0.157 | 0.002  | -0.001   |    | -1.04 |
| 11           | 11       | 0.136      | 0.135 | 0.002  | 0.001    |    | 1.04  |
| 12           | 12       | 0.177      | 0.175 | 0.002  | 0.002    |    | 1.56  |
| 13           | 13       | 0.158      | 0.157 | 0.001  | 0.000    |    | 0.15  |
| 14           | 14       | 0.158      | 0.157 | 0.001  | 0.001    |    | 0.60  |
| 15           | 15       | 0.156      | 0.157 | 0.001  | -0.001   |    | -0.74 |

Estimated Regression Coefficients for Gaya Rolling Resistance using data in uncoded units

| Term     | Coef         |
|----------|--------------|
| Constant | -5.78167     |
| KPB      | 0.00812573   |
| BR       | 0.0425189    |
| BA       | 0.00567858   |
| KPB*KPB  | -3.48846E-06 |
| BR*BR    | -1.22249E-04 |
| BA*BA    | 1.11449E-05  |
| KPB*BR   | -1.11680E-05 |
| KPB*BA   | -2.15754E-05 |
| BR*BA    | 2.12987E-05  |

**Data C3. Analisis gaya rolling resistance pada bearing type 6201**

**Box-Behnken Design**

Factors: 3 Replicates: 3  
 Base runs: 15 Total runs: 15  
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Center points: 3

Design Table

| Run | Blk | A | B | C |
|-----|-----|---|---|---|
| 1   | 1   | - | - | 0 |
| 2   | 1   | + | - | 0 |
| 3   | 1   | - | + | 0 |
| 4   | 1   | + | + | 0 |
| 5   | 1   | - | 0 | - |
| 6   | 1   | + | 0 | - |
| 7   | 1   | - | 0 | + |
| 8   | 1   | + | 0 | + |
| 9   | 1   | 0 | - | - |
| 10  | 1   | 0 | + | - |
| 11  | 1   | 0 | - | + |
| 12  | 1   | 0 | + | + |
| 13  | 1   | 0 | 0 | 0 |
| 14  | 1   | 0 | 0 | 0 |
| 15  | 1   | 0 | 0 | 0 |

**Response Surface Regression: Gaya Rolling Resistance versus KPB, BR, BA**

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Gaya Rolling Resistance

| Term     | Coef      | SE Coef  | T       | P     |
|----------|-----------|----------|---------|-------|
| Constant | 0.300619  | 0.002325 | 129.296 | 0.000 |
| KPB      | -0.008536 | 0.001424 | -5.995  | 0.002 |
| BR       | 0.028162  | 0.001424 | 19.780  | 0.000 |
| BA       | 0.010521  | 0.001424 | 7.390   | 0.001 |
| KPB*KPB  | 0.001157  | 0.002096 | 0.552   | 0.605 |
| BR*BR    | -0.015982 | 0.002096 | -7.626  | 0.001 |
| BA*BA    | 0.002025  | 0.002096 | 0.966   | 0.378 |
| KPB*BR   | -0.000705 | 0.002014 | -0.350  | 0.740 |
| KPB*BA   | -0.007109 | 0.002014 | -3.530  | 0.017 |
| BR*BA    | 0.002911  | 0.002014 | 1.446   | 0.208 |

S = 0.00402710 PRESS = 0.000977784  
 R-Sq = 99.11% R-Sq(pred) = 89.29% R-Sq(adj) = 97.51%

Analysis of Variance for Gaya Rolling Resistance

| Source     | DF | Seq SS   | Adj SS   | Adj MS   | F      | P     |
|------------|----|----------|----------|----------|--------|-------|
| Regression | 9  | 0.009051 | 0.009051 | 0.001006 | 62.01  | 0.000 |
| Linear     | 3  | 0.007813 | 0.007813 | 0.002604 | 160.59 | 0.000 |

|                |    |          |          |          |        |       |
|----------------|----|----------|----------|----------|--------|-------|
| KPB            | 1  | 0.000583 | 0.000583 | 0.000583 | 35.94  | 0.002 |
| BR             | 1  | 0.006345 | 0.006345 | 0.006345 | 391.23 | 0.000 |
| BA             | 1  | 0.000886 | 0.000886 | 0.000886 | 54.61  | 0.001 |
| Square         | 3  | 0.001000 | 0.001000 | 0.000333 | 20.55  | 0.003 |
| KPB*KPB        | 1  | 0.000017 | 0.000005 | 0.000005 | 0.30   | 0.605 |
| BR*BR          | 1  | 0.000967 | 0.000943 | 0.000943 | 58.15  | 0.001 |
| BA*BA          | 1  | 0.000015 | 0.000015 | 0.000015 | 0.93   | 0.378 |
| Interaction    | 3  | 0.000238 | 0.000238 | 0.000079 | 4.89   | 0.060 |
| KPB*BR         | 1  | 0.000002 | 0.000002 | 0.000002 | 0.12   | 0.740 |
| KPB*BA         | 1  | 0.000202 | 0.000202 | 0.000202 | 12.46  | 0.017 |
| BR*BA          | 1  | 0.000034 | 0.000034 | 0.000034 | 2.09   | 0.208 |
| Residual Error | 5  | 0.000081 | 0.000081 | 0.000016 |        |       |
| Lack-of-Fit    | 3  | 0.000058 | 0.000058 | 0.000019 | 1.66   | 0.398 |
| Pure Error     | 2  | 0.000023 | 0.000023 | 0.000012 |        |       |
| Total          | 14 | 0.009132 |          |          |        |       |

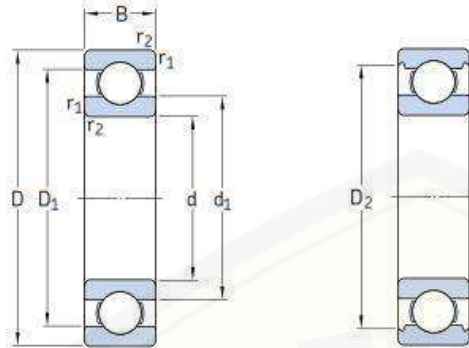
| Obs | StdOrder | Gaya Rolling |       |        |          |          |  |
|-----|----------|--------------|-------|--------|----------|----------|--|
|     |          | Resistance   | Fit   | SE Fit | Residual | St Resid |  |
| 1   | 1        | 0.275        | 0.268 | 0.004  | 0.007    | 0.89     |  |
| 2   | 2        | 0.273        | 0.259 | 0.004  | 0.014    | 1.87     |  |
| 3   | 3        | 0.336        | 0.331 | 0.004  | 0.005    | 0.69     |  |
| 4   | 4        | 0.320        | 0.313 | 0.004  | 0.007    | 0.91     |  |
| 5   | 5        | 0.299        | 0.300 | 0.004  | -0.001   | -0.13    |  |
| 6   | 6        | 0.299        | 0.297 | 0.004  | 0.003    | 0.35     |  |
| 7   | 7        | 0.304        | 0.330 | 0.004  | -0.026   | -3.47 R  |  |
| 8   | 8        | 0.301        | 0.307 | 0.004  | -0.006   | -0.77    |  |
| 9   | 9        | 0.256        | 0.257 | 0.004  | -0.001   | -0.09    |  |
| 10  | 10       | 0.315        | 0.309 | 0.004  | 0.006    | 0.79     |  |
| 11  | 11       | 0.273        | 0.270 | 0.004  | 0.003    | 0.45     |  |
| 12  | 12       | 0.340        | 0.336 | 0.004  | 0.004    | 0.54     |  |
| 13  | 13       | 0.308        | 0.307 | 0.003  | 0.001    | 0.12     |  |
| 14  | 14       | 0.317        | 0.307 | 0.003  | 0.010    | 1.18     |  |
| 15  | 15       | 0.310        | 0.307 | 0.003  | 0.003    | 0.33     |  |

R denotes an observation with a large standardized residual.

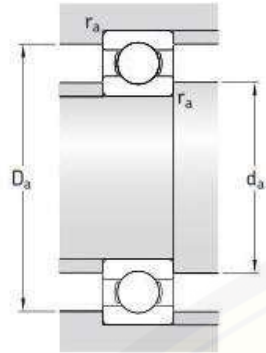
Estimated Regression Coefficients for Gaya Rolling Resistance using data in uncoded units

| Term     | Coef         |
|----------|--------------|
| Constant | -4.98646     |
| KPB      | 0.00201753   |
| BR       | 0.0501613    |
| BA       | 0.00977905   |
| KPB*KPB  | 2.89330E-06  |
| BR*BR    | -1.59822E-04 |
| BA*BA    | 2.02500E-05  |
| KPB*BR   | -3.52662E-06 |
| KPB*BA   | -3.55440E-05 |
| BR*BA    | 2.91130E-05  |

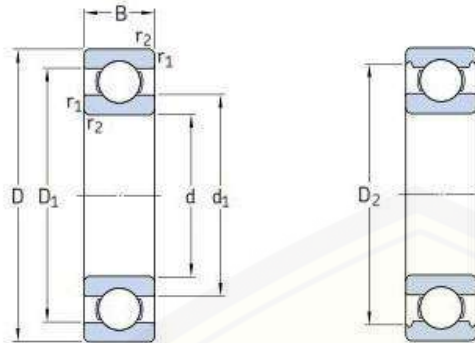
Lampiran D. Tabel Spesifikasi *Single Row Deep Groove Ball Bearing*



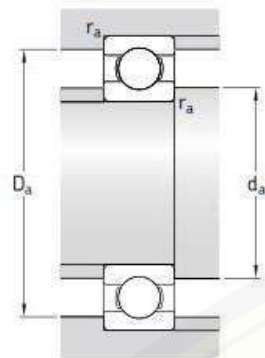
| Principal dimensions |    |      | Basic load ratings |                | Fatigue load limit | Speed ratings   |                | Mass          | Designation   |
|----------------------|----|------|--------------------|----------------|--------------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|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



| Dimensions |                |                |                |                          | Abutment and fillet dimensions |                        |                        | Calculation factors |                |
|------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| d          | d <sub>1</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | r <sub>1,2</sub><br>min. | d <sub>a</sub><br>min.         | D <sub>a</sub><br>max. | r <sub>a</sub><br>max. | k <sub>r</sub>      | f <sub>0</sub> |
| mm         | mm             | mm             | mm             | mm                       | mm                             | mm                     | mm                     | -                   | -              |
| 3          | 5,2            | 7,5            | 8,2            | 0,15                     | 4,2                            | 8,8                    | 0,1                    | 0,025               | 7,5            |
| 4          | 5,2            | 7,5            | -              | 0,1                      | 4,6                            | 8,4                    | 0,1                    | 0,015               | 6,5            |
|            | 6,1            | 9              | 9,9            | 0,15                     | 4,8                            | 10,2                   | 0,1                    | 0,02                | 6,4            |
|            | 6,1            | 9,9            | -              | 0,2                      | 5,4                            | 10,6                   | 0,2                    | 0,025               | 10             |
|            | 6,7            | 10,3           | 11,2           | 0,2                      | 5,8                            | 11,2                   | 0,2                    | 0,025               | 10             |
|            | 8,4            | 12             | 13,3           | 0,3                      | 6,4                            | 13,6                   | 0,3                    | 0,03                | 8,4            |
| 5          | 6,8            | 9,2            | -              | 0,15                     | 5,8                            | 10,2                   | 0,1                    | 0,015               | 7,1            |
|            | 7,5            | 10,5           | 11,2           | 0,2                      | 6,4                            | 11,6                   | 0,2                    | 0,02                | 11             |
|            | 8,4            | 12             | 13,3           | 0,3                      | 7,4                            | 13,6                   | 0,3                    | 0,025               | 8,4            |
|            | 11,1           | 15,2           | 16,5           | 0,3                      | 7,4                            | 16,6                   | 0,3                    | 0,03                | 13             |
| 6          | 8              | 11             | -              | 0,15                     | 6,8                            | 12,2                   | 0,1                    | 0,015               | 7              |
|            | 8,2            | 11,7           | 13             | 0,2                      | 7,4                            | 13,6                   | 0,2                    | 0,02                | 6,8            |
|            | 11,1           | 15,2           | 16,5           | 0,3                      | 8,4                            | 16,6                   | 0,3                    | 0,025               | 13             |
| 7          | 9              | 12             | -              | 0,15                     | 7,8                            | 13,2                   | 0,1                    | 0,015               | 7,2            |
|            | 10,4           | 13,6           | 14,3           | 0,3                      | 9                              | 15                     | 0,3                    | 0,02                | 7,3            |
|            | 11,1           | 15,2           | 16,5           | 0,3                      | 9                              | 17                     | 0,3                    | 0,025               | 13             |
|            | 12,1           | 17,6           | 19,2           | 0,3                      | 9,4                            | 19,6                   | 0,3                    | 0,025               | 12             |
| 8          | 10,5           | 13,5           | -              | 0,2                      | 9,4                            | 14,6                   | 0,2                    | 0,015               | 7,5            |
|            | 10,5           | 15,5           | 16,7           | 0,3                      | 10                             | 17                     | 0,3                    | 0,02                | 6,6            |
|            | 12,1           | 17,6           | 19,2           | 0,3                      | 10                             | 20                     | 0,3                    | 0,025               | 12             |
|            | 14,4           | 19,8           | 21,2           | 0,3                      | 10,4                           | 21,6                   | 0,3                    | 0,025               | 13             |
| 9          | 11,5           | 14,5           | -              | 0,2                      | 10,4                           | 15,6                   | 0,2                    | 0,015               | 7,7            |
|            | 11,6           | 16,2           | 17,5           | 0,3                      | 11                             | 18                     | 0,3                    | 0,02                | 12             |
|            | 14,4           | 19,8           | 21,2           | 0,3                      | 11                             | 22                     | 0,3                    | 0,025               | 13             |
|            | 14,8           | 21,2           | 22,6           | 0,3                      | 11,4                           | 23,6                   | 0,3                    | 0,025               | 12             |
| 10         | 12,7           | 16,3           | -              | 0,3                      | 12                             | 17                     | 0,3                    | 0,015               | 15             |
|            | 13,9           | 18,2           | -              | 0,3                      | 12                             | 20                     | 0,3                    | 0,02                | 14             |
|            | 14,8           | 21,2           | 22,6           | 0,3                      | 12                             | 24                     | 0,3                    | 0,025               | 12             |
|            | 17             | 23,2           | 24,8           | 0,3                      | 14,2                           | 23,8                   | 0,3                    | 0,025               | 13             |
|            | 17             | 23,2           | 24,8           | 0,6                      | 14,2                           | 25,8                   | 0,6                    | 0,025               | 13             |
|            | 17,5           | 26,9           | 28,7           | 0,6                      | 14,2                           | 30,8                   | 0,6                    | 0,03                | 11             |



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



| d    | Dimensions |       |       |                   | Abutment and fillet dimensions |               |               | Calculation factors |       |
|------|------------|-------|-------|-------------------|--------------------------------|---------------|---------------|---------------------|-------|
|      | $d_1$      | $D_1$ | $D_2$ | $r_{1,2}$<br>min. | $d_a$<br>min.                  | $D_a$<br>max. | $r_a$<br>max. | $k_f$               | $f_0$ |
| mm   | -          | -     | -     |                   | mm                             |               |               | -                   |       |
| 12   | 14,8       | 18,3  | -     | 0,3               | 14                             | 19            | 0,3           | 0,015               | 13    |
|      | 16         | 20,3  | -     | 0,3               | 14                             | 22            | 0,3           | 0,02                | 15    |
|      | 17         | 23,2  | 24,8  | 0,3               | 14                             | 26            | 0,3           | 0,025               | 13    |
|      | 17         | 23,4  | 24,8  | 0,3               | 14,4                           | 27,6          | 0,3           | 0,025               | 13    |
|      | 18,4       | 25,7  | 27,4  | 0,6               | 16,2                           | 27,8          | 0,6           | 0,025               | 12    |
| 19,5 | 29,5       | 31,5  | 1     | 17,6              | 31,4                           | 1             | 0,03          | 11                  |       |
| 15   | 17,8       | 21,3  | -     | 0,3               | 17                             | 22            | 0,3           | 0,015               | 14    |
|      | 18,8       | 24,2  | 25,3  | 0,3               | 17                             | 26            | 0,3           | 0,02                | 14    |
|      | 20,5       | 26,7  | 28,2  | 0,3               | 17                             | 30            | 0,3           | 0,02                | 14    |
|      | 20,5       | 26,7  | 28,2  | 0,3               | 17                             | 30            | 0,3           | 0,025               | 14    |
|      | 21,7       | 29    | 30,4  | 0,6               | 19,2                           | 30,8          | 0,6           | 0,025               | 13    |
|      | 23,7       | 33,7  | 36,3  | 1                 | 20,6                           | 36,4          | 1             | 0,03                | 12    |
| 17   | 19,8       | 23,3  | -     | 0,3               | 19                             | 24            | 0,3           | 0,015               | 14    |
|      | 20,4       | 26,6  | 27,7  | 0,3               | 19                             | 28            | 0,3           | 0,02                | 15    |
|      | 23         | 29,2  | 31,2  | 0,3               | 19                             | 33            | 0,3           | 0,02                | 14    |
|      | 23         | 29,2  | 31,2  | 0,3               | 19                             | 33            | 0,3           | 0,025               | 14    |
|      | 24,5       | 32,7  | 35    | 0,6               | 21,2                           | 35,8          | 0,6           | 0,025               | 13    |
| 24,5 | 32,7       | -     | 0,6   | 21,2              | 35,8                           | 0,6           | 0,03          | 12                  |       |
| 26,5 | 37,4       | 39,6  | 1     | 22,6              | 41,4                           | 1             | 0,03          | 12                  |       |
| 32,4 | 46,6       | 48,7  | 1,1   | 23,5              | 55,5                           | 1             | 0,035         | 11                  |       |
| 20   | 23,8       | 28,3  | -     | 0,3               | 22                             | 30            | 0,3           | 0,015               | 15    |
|      | 25,5       | 31,4  | 32,7  | 0,3               | 22                             | 35            | 0,3           | 0,02                | 15    |
|      | 27,3       | 34,6  | -     | 0,3               | 22                             | 40            | 0,3           | 0,02                | 15    |
|      | 27,2       | 34,8  | 37,2  | 0,6               | 23,2                           | 38,8          | 0,6           | 0,025               | 14    |
|      | 28,8       | 38,5  | 40,6  | 1                 | 25,6                           | 41,4          | 1             | 0,025               | 13    |
|      | 28,2       | 39,6  | -     | 1                 | 25,6                           | 41,4          | 1             | 0,025               | 12    |
|      | 30,3       | 41,6  | 44,8  | 1,1               | 27                             | 45            | 1             | 0,03                | 12    |
|      | 30,3       | 42,6  | -     | 1,1               | 27                             | 45            | 1             | 0,03                | 12    |
| 37,1 | 54,8       | -     | 1,1   | 29                | 63                             | 1             | 0,035         | 11                  |       |
| 22   | 32,2       | 41,8  | 44    | 1                 | 27,6                           | 44,4          | 1             | 0,025               | 14    |
|      | 32,9       | 45,3  | -     | 1,1               | 29                             | 47            | 1             | 0,03                | 12    |

Lampiran E. Tabel Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

| Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 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  | 2.48  | 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 F. Dokumentasi Penelitian



Gambar F.1 Alat Uji *Rolling Resistance*



Gambar F.2 *Bearing* yang diuji



Gambar F.3 Rangka Mobil Listrik



Gambar F.4 Body dan Rangka Mobil Listrik



Gambar F.5 Proses Pembuatan Rangka



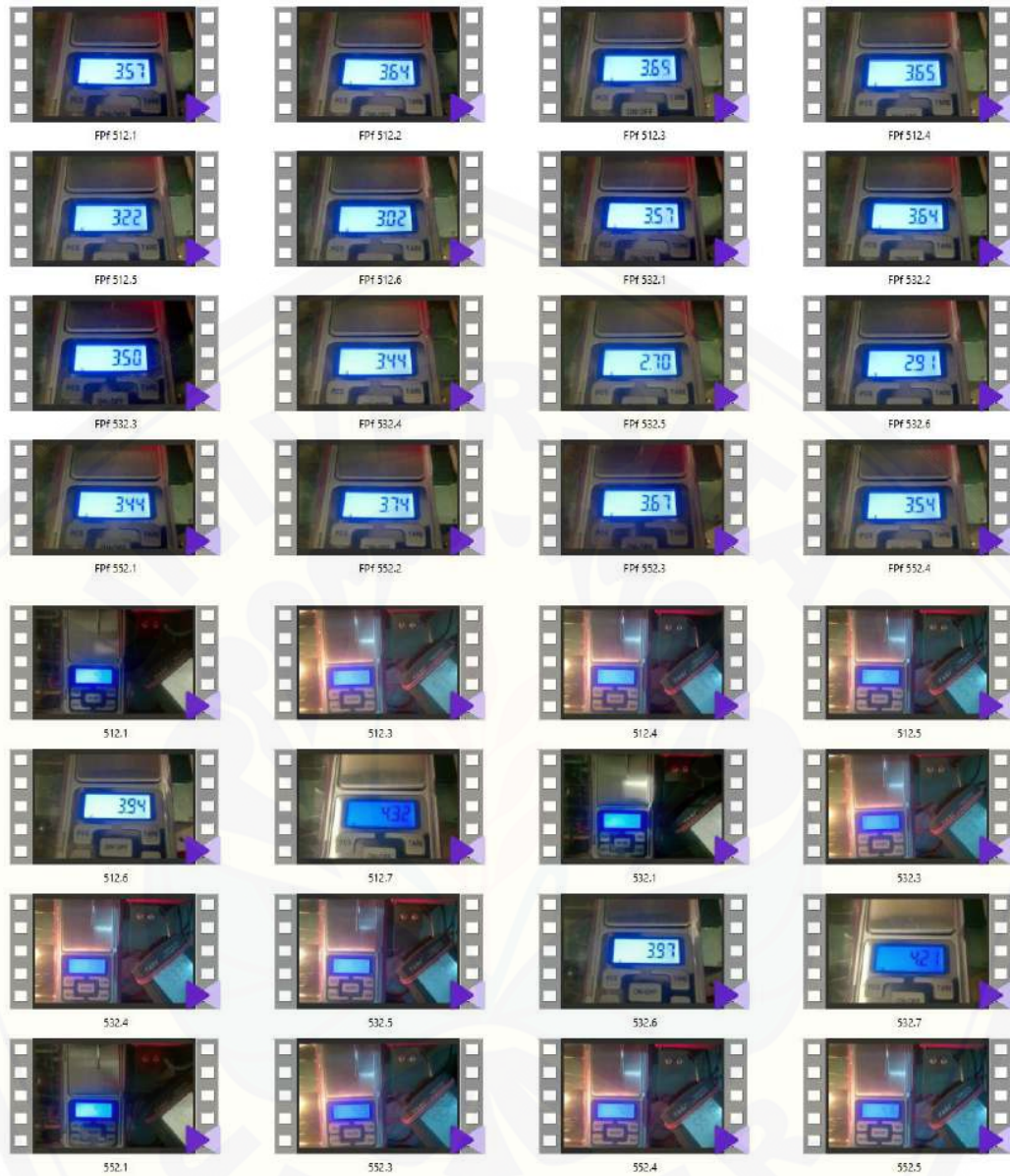
Gambar F.6 Pengujian Sistem Transmisi



Gambar F.7 Pembuatan Kontrol *Load Cell*



Gambar F.8 Proses Pengambilan Data



Gambar F.9 Hasil Pengambilan Data

Lampiran G. Surat Pemakaian Lab



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS JEMBER

FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Jl. Kalimantan No 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121

Telepon (0331) 481977 Facsimile (0331) 481977

Laman www.teknik.unj.ac.id

Nomor : .....1897...../UN25.11/EP/2017  
 Lampiran : -  
 Hal : Pemakaian Laboratorium *Kerja Bangku dan Logam*

Yth. Teknisi/Asisten Lab. *Kerja Bangku dan Logam*  
 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
 Universitas Jember

Sehubungan dengan surat permohonan mahasiswa tersebut di bawah ini:

Nama : *Achmad Fitoro*  
 NIM. : *13191010057*  
 Prog/ Jurusan : D3/ SI Teknik Mesin (\*  
 mengenai penggunaan fasilitas laboratorium *Kerja Bangku dan Logam* Jurusan Teknik Mesin Fakultas  
 Teknik Universitas Jember pada tanggal *20 April* .....s.d.  
*30 April*....., mohon diberikan kemudahan dan ijin penggunaan alat/ laboratorium  
 kepada mahasiswa tersebut diatas untuk mendukung penyelesaian Skripsi/ Tugas Akhir.

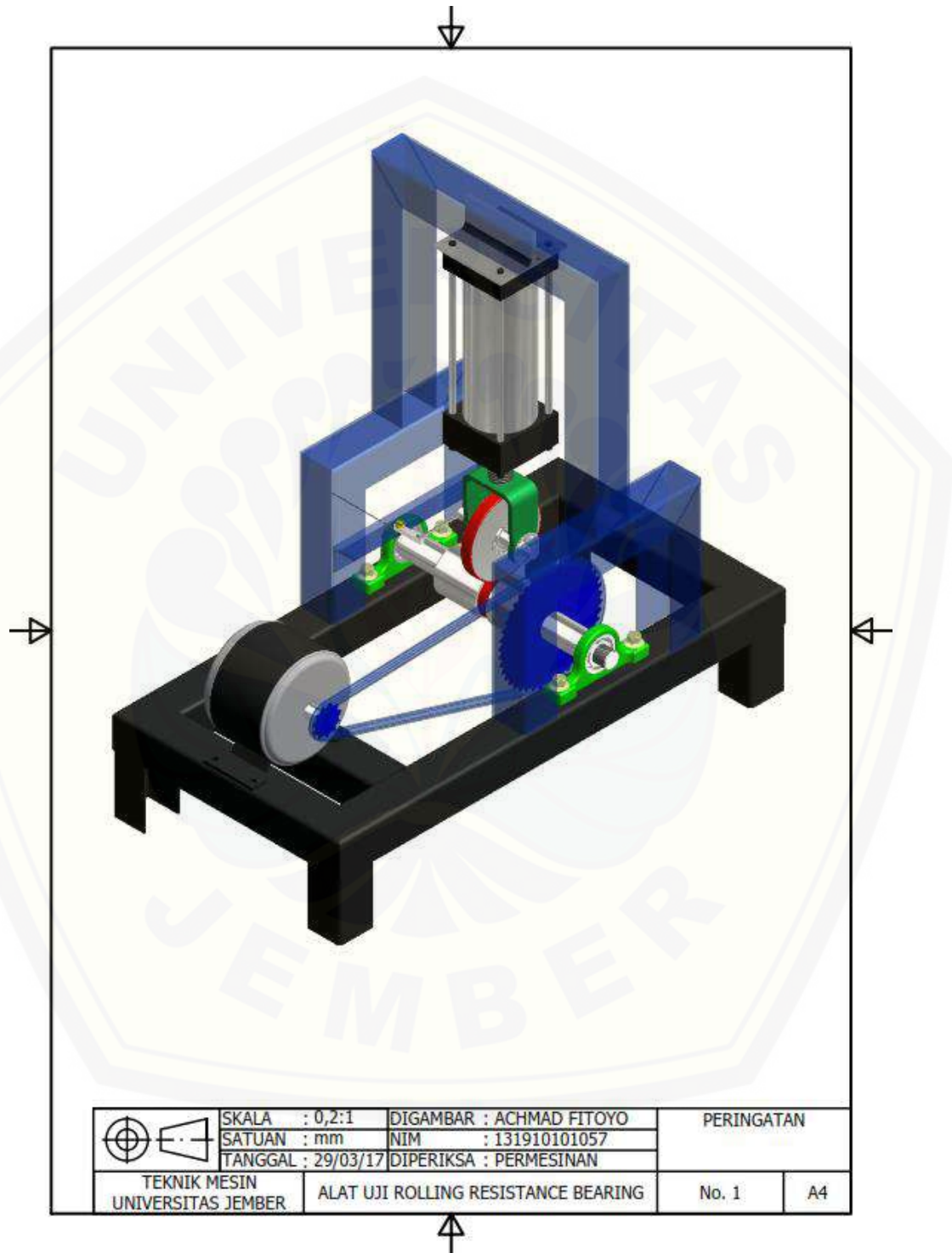
Demikian atas bantuan dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Jember, *19 April 2017*  
 Kepala Lab. *Kerja Bangku dan Logam*

*[Signature]*  
 Ir. Dwi Djimharizanto, M.T  
 NIP. *19600812 199802 1 001*

(\* Coret yang tidak perlu

Lampiran H.1. Desain Alat Uji *Rolling Resistance Bearing*



Lampiran H.2 Gambar Mekanisme Alat

