



**PENGARUH TIPE *SINGLE* DAN *DOUBLE ROW* ANGULAR CONTACT
BALL BEARING TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

SKRIPSI

Oleh
Alex Tresa Elsyamba
NIM 171910101121

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENGARUH TIPE *SINGLE* DAN *DOUBLE ROW* ANGULAR CONTACT
BALL BEARING TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

SKRIPSI

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

Oleh
Alex Tresa Elsyamba
NIM 171910101121

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap puji syukur kepada Allah SWT, skripsi ini dibuat sebagai perwujudan rasa terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas segala berkah dan karunia-Nya serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW;
2. Ibunda Elik Setyowati dan Ayahanda Hisyam Zaini yang tercinta, terima kasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, nasehat dan air mata yang menetes dalam setiap untaian do'a yang senantiasa mengiringi setiap langkah bagi perjuangan dan keberhasilan penulis;
3. Guru-guru sejak TK hingga SMA, dosen, dan seluruh civitas akademika Universitas Jember khususnya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin yang telah menjadi tempat menimba ilmu dan telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran;
4. Dulur-dulur Teknik Mesin DIII dan S1 angkatan 2014, yang telah memberikan do'a, dukungan, kontribusi, ide dan kritikan;
5. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

MOTO

Dan orang yang bersungguh-sungguh (berjihad) untuk mencari (keridhaan) kami, benar-benar akan kami tunjukkan kepada mereka jalan-jalan kami. Dan sesungguhnya Allah benar-benar beserta orang-orang yang berbuat kebaikan.
(terjemahan Surat Al-Ankabut ayat 69)

atau

Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan suatu kaum kecuali kaum itu sendiri yang mengubah keadaan diri mereka.
(terjemahan Surat Ar-Ra'd ayat 11)

atau

Tuntutlah ilmu, tapi tidak melupakan ibadah dan kerjakanlah ibadah tapi tidak boleh lupa pada ilmu.
(Hassan Al Bashri)

atau

“Solidarity Forever”

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alex Tresa Elsyamba

NIM : 171910101121

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “*Pengaruh Tipe Single Dan Double Row Angular Contact Ball Bearing Terhadap Rolling Resistance*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, Januari 2019

Yang menyatakan,

Alex Tresa Elsyamba
171910101121

SKRIPSI

**PENGARUH TIPE *SINGLE* DAN *DOUBLE ROW* ANGULAR CONTACT BALL
BEARING TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

Oleh

Alex Tresa Elsyamba
NIM 171910101121

Pembimbing:

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

Dosen Pembimbing Anggota : Boy Arief Fachri, S.T., M.T., Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul ”*Pengaruh Tipe Single Dan Double Row Angular Contact Ball Bearing Terhadap Rolling Resistance*” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Jum’at, 18 Januari 2019

tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing

Pembimbing I,

Santoso Mulyadi S.T., M.T.
NIP 197002281997021001

Pembimbing II,

Boy Arief Fachri S.T., M.T., Ph.D
NIP 197409011999031002

Penguji

Penguji I,

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.
NIP 196501202001121001

Penguji II,

Rika Dwi Hidayatul Q., S.T., M.T
NIP 196501202001121001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Pengaruh Tipe *Single* Dan *Double Row Angular Contact Ball Bearing* Terhadap *Rolling Resistance*; Alex Tresa Elsyamba, 171910101121; 2019: 69 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Semakin berkembangnya teknologi pada kendaraan dan meningkatnya popularitas kendaraan tentunya akan menarik minat industri otomotif untuk berlomba-lomba mengembangkan teknologi kendaraan. Mobil hemat energi merupakan suatu mobil yang didesain khusus agar menghasilkan tingkat efisiensi tinggi. Kendaraan tersebut adalah mobil listrik yang diharapkan dapat mengkonsumsi bahan bakar sedikit mungkin tetapi bisa melakukan perjalanan yang jauh. Kemajuan ini ditandai dengan banyaknya penelitian tentang pengaruh efisiensi kendaraan salah satunya mengetahui nilai dari *rolling resistance*. *Rolling resistance* adalah gaya hambatan yang perlu dikompensasi dengan gaya luar untuk mempertahankan kecepatan. Pada dasarnya, *rolling resistance* adalah momen yang diterapkan untuk melawan arah gerakan, sementara gaya diperlukan untuk menggerakkan benda.

Bantalan merupakan suatu elemen mesin yang berpengaruh terhadap nilai *rolling resistance* sehingga perlu dirancang alat uji *rolling resistance* untuk memudahkan proses pengujian. Pada penelitian ini, Pengujian dilakukan menggunakan tipe bantalan *single row angular contact ball bearing* (7200, 7201) dan *double row angular contact ball bearing* (5200, 5201) yang diuji dengan variasi putaran 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm dan beban *flywheel* yang disesuaikan dengan karakteristik mobil yang diteliti.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh beban *flywheel* dan variasi putaran terhadap *rolling resistance* sehingga peneliti dapat mengetahui pengaruh tipe bantalan yang sesuai dengan kebutuhan mobil listrik yang akan diteliti.

Dari hasil yang didapat, gaya *rolling resistance* terkecil terjadi di tipe bantalan *single row angular contact ball bearing* (7201) dengan putaran 290 rpm diperoleh sebesar 0,6531 N dan gaya *rolling resistance* terbesar terjadi di *single*

row angular contact ball bearing (7200) dengan putaran 330 rpm sebesar 1,2340 N. Dari keempat tipe bantalan diatas bahwa pengaruh luas area kontak juga mempengaruhi nilai gaya *rolling resistance*. Semakin besar luas area kontak bantalan maka nilai gaya *rolling resistance* akan semakin meningkat. Pada tipe bantalan *angular contact ball bearing*, gaya *rolling resistance* terbesar diperoleh tipe bantalan *double row* (5201). Hal ini disebabkan tipe bantalan *double row* (5201) memiliki luas area kontak yang lebih besar dari tipe bantalan *single row* (7200).



SUMMARY

Effect of Type Single and Double Row Angular Contact Ball Bearings for Rolling Resistance; Alex Tresa Elsyamba, 171910101121; 2019: 69 Pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

The development of technology in vehicles and the increasing popularity of vehicles will certainly attract the automotive industry to compete in developing vehicle technology. Energy-efficient cars are a car specifically designed to produce a high level of efficiency. The vehicle is an electric car that is expected to consume as little fuel as possible but can travel far. This progress was marked by the many studies on the effect of vehicle efficiency, one of which was knowing the value of rolling resistance. Rolling resistance is a force of resistance that needs to be compensated with an external force to maintain speed. Basically, rolling resistance is a moment applied to counteract the direction of movement, while force is needed to move objects.

Bearing is a machine element that affects the rolling resistance value so that rolling resistance test equipment needs to be designed to facilitate the testing process. In this study, tests were carried out using single row angular contact ball bearing (7200, 7201) and double row angular contact ball bearing (5200, 5201) types which were tested with variations in rotation of 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm and adjustable flywheel loads with the characteristics of the car under study.

This study aims to determine the effect of flywheel load and variation of rotation on rolling resistance so that researchers can find out the effect of bearing types that are in accordance with the needs of the electric car to be studied.

From the results obtained, the smallest rolling resistance force occurs in angular contact ball bearing single type bearings (7201) with 290 rpm rotation obtained at 0.6531 N and the largest rolling resistance force occurs in single row angular contact ball bearings (7200) with rotation 330 rpm is 1.2340 N. Of the four types of bearings above that the influence of the area of contact area also

affects the value of rolling resistance force. The greater the contact area of the bearing, the value of the rolling resistance force will increase. In angular contact ball bearing type, the biggest rolling resistance force is obtained by double row bearing type (5201). This is because the double row bearing type (5201) has a larger contact area than the single row bearing type (7200).



PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ”*Pengaruh Tipe Single dan Double Row Angular Contact Ball Bearing Terhadap Rolling Resistance*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

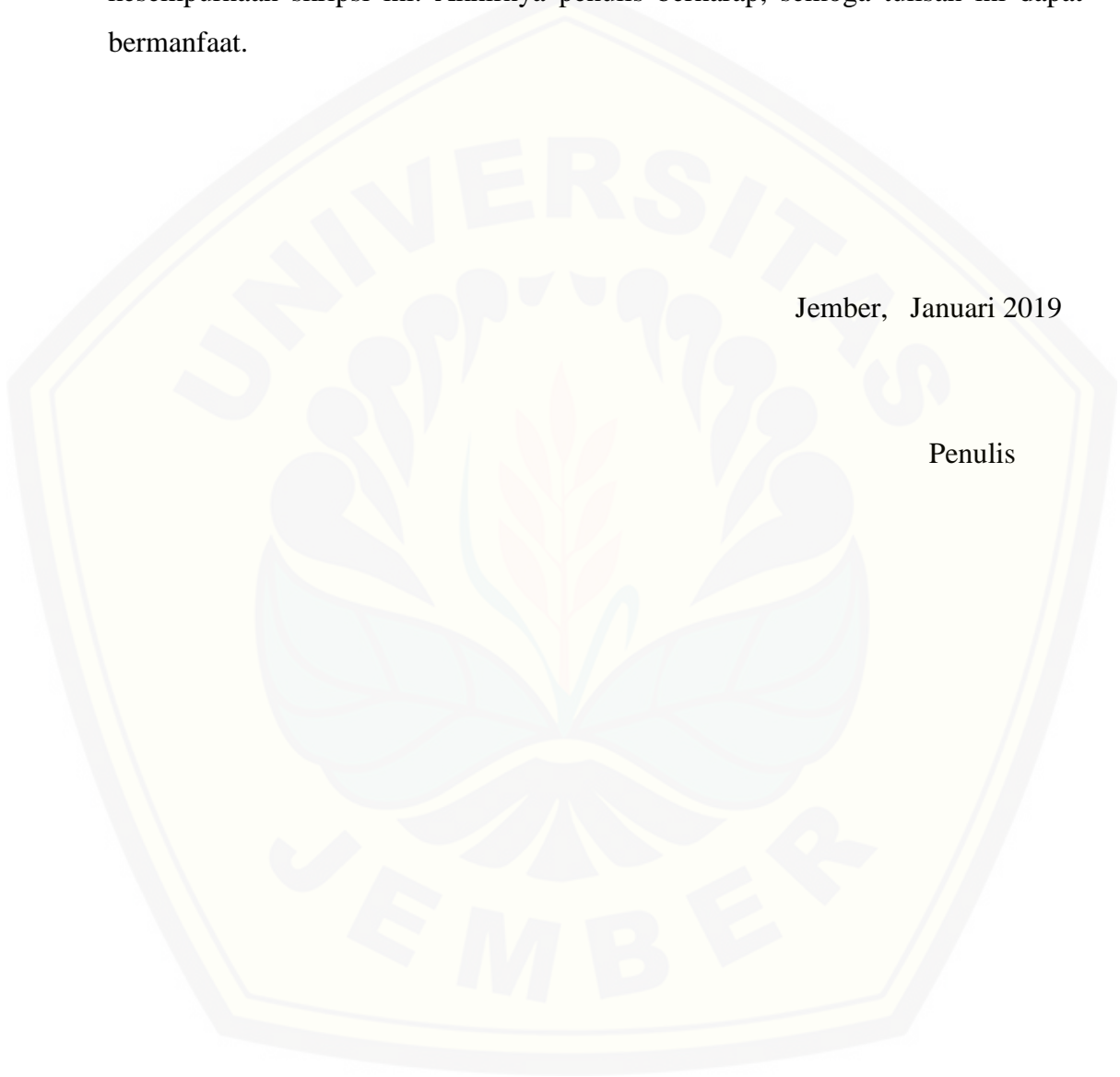
1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara B., S.T., M.T. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini;
3. Santoso Mulyadi, S.T., M.T.. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Boy Arief F., S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran memberi bimbingan, dorongan, meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi ini sehingga dapat terlaksana dengan baik;
4. Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Penguji I dan Rika Dwi Hidayatul Q. S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas saran dan kritiknya;
5. Santoso Mulyadi S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah;
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pengorbanan, saran dan kritik kepada penulis;
7. Ibunda Elik Setyowati dan Ayahanda Hisyam Zaini yang telah memberikan segalanya kepada penulis;
8. Kakak-kakakku Ade Ivung Reveles Elsyamba, Oky Primadana Elsyamba yang telah memberikan do'a dan semangat untuk penulis;

9. Teman-temanku seperjuangan DIII dan S1 Teknik Mesin 2014 yang selalu memberi dukungan dan saran kepada penulis;
10. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, Januari 2019

Penulis

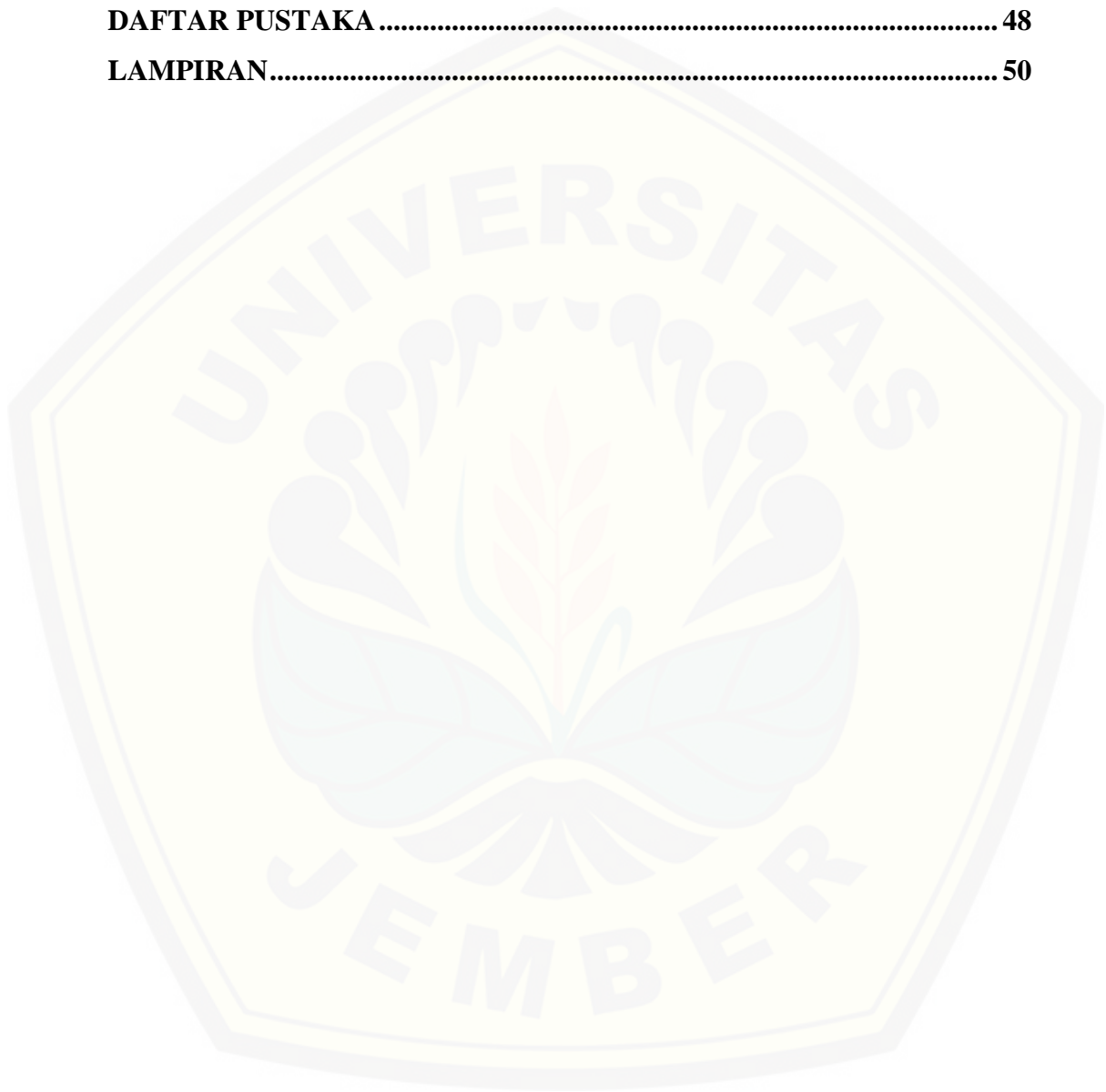


DAFTAR ISI

| | |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| MOTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | iv |
| HALAMAN PEMBIMBING | v |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | vi |
| RINGKASAN | vii |
| SUMMARY | ix |
| PRAKATA..... | xi |
| DAFTAR ISI..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xvi |
| DAFTAR TABEL | xix |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan dan Manfaat | 4 |
| 1.4.1 Tujuan..... | 4 |
| 1.4.2 Manfaat..... | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Bantalan | 5 |
| 2.1.1 Klasifikasi Bantalan..... | 5 |
| 2.1.2 Perbandingan Antara Bantalan Luncur Dan Bantalan Gelinding.... | 7 |
| 2.1.3 Kode dan Spesifikasi | 9 |
| 2.2 Angular Contact Ball Bearing..... | 13 |
| 2.3 Beban Pada Bantalan..... | 15 |
| 2.3.1 Beban Radial Bantalan | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.2 Beban Aksial Bantalan | 15 |
| 2.4 Rolling resistance | 17 |
| 2.4.1 Pemodelan Rolling resistance..... | 17 |
| 2.4.2 Momen Inersia..... | 19 |
| 2.4.3 Perhitungan Rolling Resistance..... | 19 |
| 2.4.4 Standar Pengujian Rolling resistance ISO 18164: 2005..... | 21 |
| 2.4.5 Standar Pengujian Bearing | 21 |
| 2.5 Mobil Listrik..... | 22 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN..... | 24 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 24 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 24 |
| 3.2.1 Alat | 24 |
| 3.2.2 Bahan | 27 |
| 3.3 Tahap Identifikasi Masalah | 27 |
| 3.4 Tahap Pelaksanaan Pengujian..... | 29 |
| 3.4.1 Metode Pengujian | 29 |
| 3.4.2 Langkah Pengujian | 30 |
| 3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan | 30 |
| 3.6 Diagram Alir..... | 31 |
| BAB 4. PEMBAHASAN..... | 33 |
| 4.1 Tinjauan Umum | 33 |
| 4.2 Data dan Hasil Pengujian..... | 33 |
| 4.3 Analisis Data dan Pembahasan..... | 36 |
| 4.3.1 Pembahasan gaya dan koefisien rolling resistance putaran bantalan 290 rpm | 36 |
| 4.3.2 Pembahasan gaya dan koefisien rolling resistance dengan putaran bantalan 310 rpm | 37 |
| 4.3.3 Pembahasan gaya dan koefisien rolling resistance dengan putaran bantalan 330 rpm | 38 |
| 4.3.4 Pembahasan hubungan gaya rolling resistance dengan putaran bantalan..... | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.5 Pembahasan pada tipe bantalan | 40 |
| BAB 5. PENUTUP..... | 46 |
| 5.1 Kesimpulan | 46 |
| 5.2 Saran | 47 |
| DAFTAR PUSTAKA | 48 |
| LAMPIRAN..... | 50 |



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi bantalan anti friksi..... 5

Gambar 2.2 Bantalan mampu beban radial 6

Gambar 2.3 Bantalan mampu beban aksial..... 6

Gambar 2.4 Bantalan mampu beban aksial dan radial..... 7

Gambar 2.5 Macam-macam bantalan luncur 8

Gambar 2.6 Klasifikasi *rolling* Bantalan 9

Gambar 2.7 Kode dan spesifikasi bantalan 10

Gambar 2.8 *Rolling Contact* Bantalan 11

Gambar 2.9 Nomor seri untuk jenis bantalan..... 12

Gambar 2.10 Sudut kontak bantalan 13

Gambar 2.11 Tipe *Single row angular contact ball bearing* 14

Gambar 2.12 Tipe *double row angular contact ball bearing* 14

Gambar 2.13 Skema beban radial pada mobil listrik 15

Gambar 2.14 Free Body diagram gaya sentrifugal 16

Gambar 2.15 Fenomena *rolling resistance* 17

Gambar 2.16 Fenomena free body diagram *rolling resistance* pada gaya tangensial..... 18

Gambar 2.17 Bentuk geomteri bantalan silinder berongga..... 19

Gambar 2.18 Free Body Diagram pengujian *rolling resistance* 21

Gambar 2.19 Ilustrasi metode pengujian *rolling resistance* pada bantalan 22

Gambar 2.20 Mobil listri Titen *Prototype* dan Urban Universitas Jember 23

| | |
|---|----|
| Gambar 3.1 Alat uji <i>rolling resistance</i> | 24 |
| Gambar 3.2 Motor listrik..... | 25 |
| Gambar 3.3 Kopling tetap..... | 25 |
| Gambar 3.4 <i>Flywheel</i> diameter 0,176 meter..... | 26 |
| Gambar 3.5 Tachometer..... | 26 |
| Gambar 3.6 Diagram Alir..... | 32 |
| Gambar 4.1 Menghitung luas area kontak <i>ball bearing</i> menggunakan bantuan software CAD..... | 34 |
| Gambar 4.2 Grafik tipe bantalan terhadap gaya dan koefisien <i>rolling resistance</i> putaran bantalan 290 rpm..... | 36 |
| Gambar 4.3 Grafik tipe bantalan terhadap gaya dan koefisien <i>rolling resistance</i> putaran bantalan 310 rpm..... | 37 |
| Gambar 4.4 Grafik tipe bantalan terhadap gaya dan koefisien <i>rolling resistance</i> putaran bantalan 330 rpm..... | 38 |
| Gambar 4.5 Grafik hubungan gaya <i>rolling resistance</i> dengan kecepatan putar 39 | |
| Gambar 4.6 Permukaan antara raceway bantalan dan pelindung sudut bola... | 41 |
| Gambar 4.7 Bentuk geomteri bantalan silinder berongga..... | 42 |
| Gambar 4.8 desain <i>cage</i> mahkota..... | 43 |
| Gambar 4.9 Luas area kontak pada tipe bantalan <i>double row angular contact ball bearing</i> (5200)..... | 43 |
| Gambar 4.10 Luas area kontak pada tipe bantalan <i>double row angular contact ball bearing</i> (5201)..... | 44 |

Gambar 4.11 Luas area kontak pada tipe bantalan *double row angular contact ball bearing*45



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 3.1 Spesifikasi <i>single row angular contact ball bearing</i> | 27 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi <i>double row angular contact ball bearing</i> | 27 |
| Tabel 3.3 Variasi Pengujian yang digunakan..... | 29 |
| Tabel 4.1 Data hasil pengujian pada <i>bearing single row angular contact ball bearing (7200, 7201)</i> | 33 |
| Tabel 4.2 Data hasil pengujian pada <i>bearing double row angular contact ball bearing (5200, 5201)</i> | 34 |
| Tabel 4.3 Hasil perhitungan koefisien <i>rolling resistance</i> dan gaya <i>rolling resistance</i> berdasarkan data pengujian..... | 35 |
| Tabel 4.4 Hasil perhitungan koefisien <i>rolling resistance</i> dan gaya <i>rolling resistance</i> putaran bantalan 290 rpm | 36 |
| Tabel 4.5 Hasil perhitungan koefisien <i>rolling resistance</i> dan gaya <i>rolling resistance</i> putaran bantalan 310 rpm | 37 |
| Tabel 4.6 Hasil perhitungan koefisien <i>rolling resistance</i> dan gaya <i>rolling resistance</i> putaran bantalan 310 rpm | 38 |
| Tabel A.1 Data hasil pengujian pada <i>bearing single row angular contact ball bearing (7200, 7201)</i> | 48 |
| Tabel A.2 Data hasil pengujian pada <i>bearing double row angular contact ball bearing (5200, 5201)</i> | 49 |
| Tabel A.3 Hasil perhitungan koefisien <i>rolling resistance</i> dan gaya <i>rolling resistance</i> berdasarkan data pengujian..... | 50 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya teknologi pada kendaraan dan meningkatnya popularitas kendaraan tentunya akan menarik minat industri otomotif untuk berlomba-lomba mengembangkan teknologi kendaraan. Mobil hemat energi merupakan suatu mobil yang didesain khusus agar menghasilkan tingkat efisiensi tinggi. Kendaraan tersebut adalah mobil listrik yang diharapkan dapat mengkonsumsi bahan bakar sedikit mungkin tetapi bisa melakukan perjalanan yang jauh.

Menurut Juhala (2014), kendaraan memiliki tingkat efisiensi yang berbeda karena masing-masing kendaraan memiliki perbedaan perancangan dan teknologi yang diterapkan. Terdapat tiga faktor mendasar yang akan mempengaruhi efisiensi suatu kendaraan yaitu berat kendaraan (*mass*), hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*) dan tahanan gelinding (*rolling resistance*). Berdasarkan data dari *New European Driving Cycle* (NEDC), setiap kenaikan 10% dari bobot kendaraan akan meningkatkan 4% konsumsi energi, setiap kenaikan 10% dari *aerodynamic resistance* akan meningkatkan 1,5% konsumsi energi dan setiap kenaikan 10% dari *rolling resistance* kendaraan akan meningkatkan 1,8% kenaikan konsumsi energi.

Menurut penelitian yang dilakukan K. Chatti (2012), *rolling resistance* memiliki dampak yang besar pada pemakaian bahan bakar kendaraan yang berada diantara 7-10% dari konsumsi energi total kendaraan. Pengurangan 10% *rolling resistance* akan menyebabkan peningkatan 2-3% dalam penghematan bahan bakar. *Rolling resistance* berkontribusi terhadap total kerugian dalam konsumsi bahan bakar kendaraan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar kendaraan yaitu kerugian yang terjadi akibat momen inersia yang hilang, bentuk body dan roda yang aerodinamis, *rolling resistance*.

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan

panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tak dapat bekerja secara semestinya. (Sularso, 1997).

Dalam penelitian yang dilakukan Fitoyo (2017) yang menjelaskan tentang analisis single row deep groove ball *bearing* 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. Untuk pengujian *rolling resistance*, type *bearing* juga berpengaruh dalam *rolling resistance*. Mulai dari luasan kontak ball *bearing*, jenis ball *bearing*. Selain itu getaran, pelumasan, material *bearing* juga mempengaruhi *rolling resistance*.

Menurut penelitian Willyanto (2008), Umur *bearing* disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan gaya-gaya axial yang terjadi, sehingga perlu dilakukan cara untuk menyeimbangkan gaya-gaya axial tersebut diantaranya dengan memakai *bearing* yang tahan terhadap gaya axial yaitu salah satunya dengan *angular contact ball bearing* yang mempunyai ketahanan axial yang lebih baik sehingga mempengaruhi umur *bearing* rata-rata lebih lama.

Ketelitian ukuran mempengaruhi ketelitian pasangan bantalan. Ketelitian yang tinggi memberikan kelonggaran yang sesuai dan mengurangi kesalahan pasangan. Hal ini merupakan dasar untuk menentukan kinerja *bearing* tetap tenang dan umur panjang. Ketelitian poros dan rumah bantalan juga harus disesuaikan dengan ketelitian bantalan. Untuk memilih diantara “pasan pres”, “pasan peralihan”, dan “pasan longgar” faktor-faktor berikut ini harus diperiksa yaitu gaya-gaya yang bekerja pada bantalan pada waktu operasi, cincin yang berputar (dalam atau luar), tinggi kenaikan temperatur, tebal dinding rumah bantalan, macam cincin terpisah atau tidak.

Dari berbagai penelitian-penelitian sebelumnya yang sudah dipaparkan, bahwa *bearing* mempunyai pengaruh terhadap *rolling resistance*. Sehingga perlu dicoba untuk mengangkat suatu penelitian bantalan yang sesuai dengan kebutuhan mobil listrik Titen Urban Universitas Jember.

Pemilihan tipe bantalan yang akan digunakan mobil listrik masih terkendala karena masih belum menemukan hasil yang sesuai sehingga dilakukan pengujian lebih lanjut dengan pemilihan tipe bantalan yang dapat menghasilkan *rolling resistance* yang lebih kecil. Diharapkan penelitian skripsi dengan judul “Pengaruh Tipe *Single* dan *Double Row Angular Contact Ball Bearing* Terhadap *Rolling resistance*” dapat digunakan sebagai kajian dan informasi untuk pemilihan tipe bantalan dalam meningkatkan efisiensi mobil listrik Universitas Jember.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh beban *flywheel* dan variasi putaran bantalan terhadap gaya *rolling resistance* ?
2. Bagaimana pengaruh tipe bantalan terhadap gaya *rolling resistance* ?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengujian dilakukan menggunakan tipe bantalan *single row angular contact ball bearing* (7200, 7201) dan *double row angular contact ball bearing* (5200, 5201)
2. Variable pengujian sesuai standar karakteristik mobil listrik titen urban
3. Beban *flywheel* yang digunakan pada pengujian yaitu 200 N.
4. Putaran bantalan yang digunakan pada pengujian yaitu 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm
5. Bantalan tanpa penambahan pelumas atau kondisi dari pabrikan
6. Getaran, umur pemakaian, cacat produk, gaya gesek, serta biaya pemakaian diabaikan
7. Peralatan alat uji *rolling resistance* dianggap ideal.
8. Suhu pengujian adalah suhu ruangan.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui pengaruh beban *flywheel* dan variasi putaran bantalan terhadap gaya *rolling resistance*
2. Dapat mengetahui pengaruh tipe bantalan terhadap gaya *rolling resistance*.

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian pada ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh beban *flywheel* dan putaran bantalan terhadap *rolling resistance* untuk mendapatkan gaya *rolling* sekecil mungkin.
2. Mengetahui parameter-parameter utama yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bantalan.
3. Sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan nilai *rolling resistance* pada kendaraan.

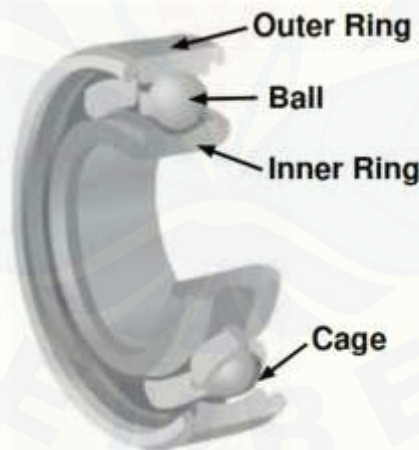
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bantalan

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

2.1.1 Klasifikasi Bantalan

Kebanyakan bantalan rol terdiri dari cincin bantalan (cincin bagian dalam dan cincin luar), elemen gelinding dan retainer elemen gelinding (*cage*). Retainer memisahkan elemen gelinding secara berkala, menahan bola didalam jalur permukaan bagian dalam dan luar, dan memungkinkan mereka untuk berputar bebas. (NTN, 2009)



Gambar 2.1 Klasifikasi bantalan anti friksi (NTN, 2009)

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Atas Dasar Gerakan Bantalan Terhadap Poros
 - a) Bantalan luncur

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

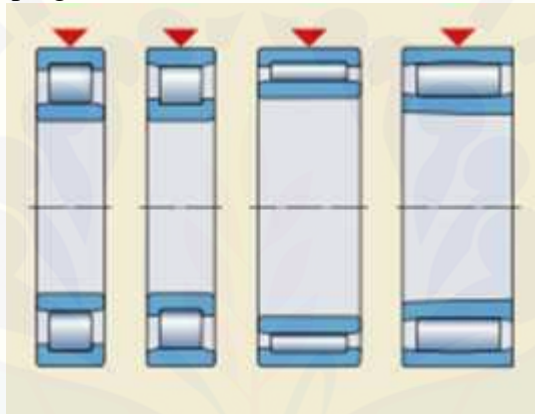
b) Bantalan gelinding

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

2. Atas Dasar Arah Beban Terhadap Poros

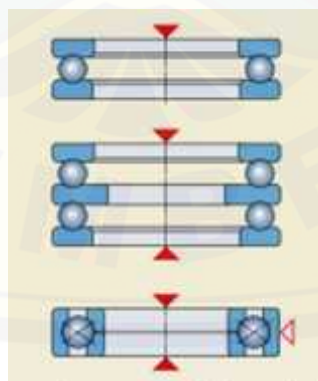
a) Bantalan radial

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



Gambar 2.2 Bantalan mampu beban radial (SKF, 2016)

b) Bantalan aksial



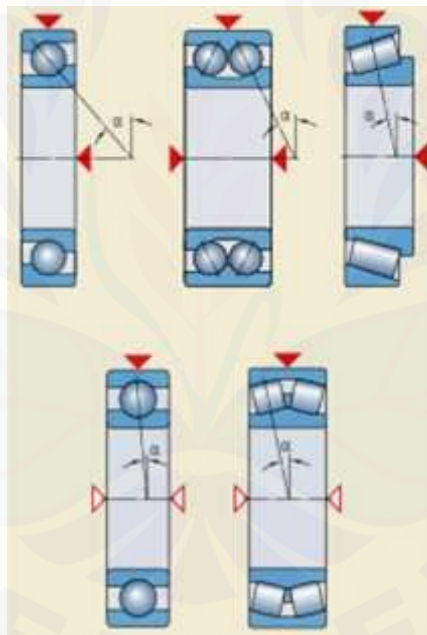
Gambar 2.3 Bantalan mampu beban aksial (SKF, 2016)

Beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros. Bantalan bola dan empat titik kontak bantalan bola cocok untuk beban ringan atau normal yang murni aksial. Bantalan bola dorong arah tunggal dapat mengakomodasi beban aksial

dalam satu arah saja. Untuk beban aksial yang bertindak di kedua arah diperlukan bantalan bola dorong arah ganda.

c) 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. 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.



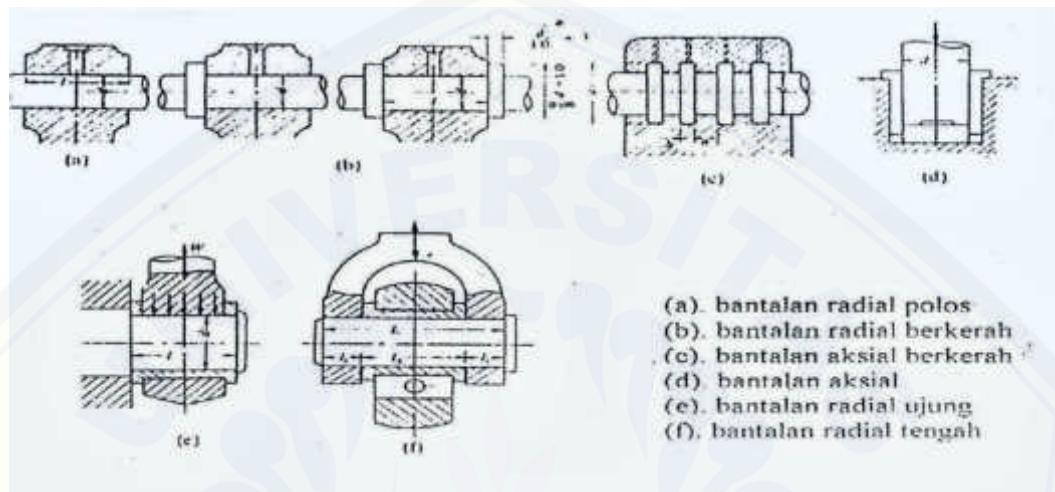
Gambar 2.4 Bantalan mampu beban aksial dan radial (SKF, 2016)

2.1.2 Perbandingan Antara Bantalan Luncur Dan Bantalan Gelinding

1. 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).



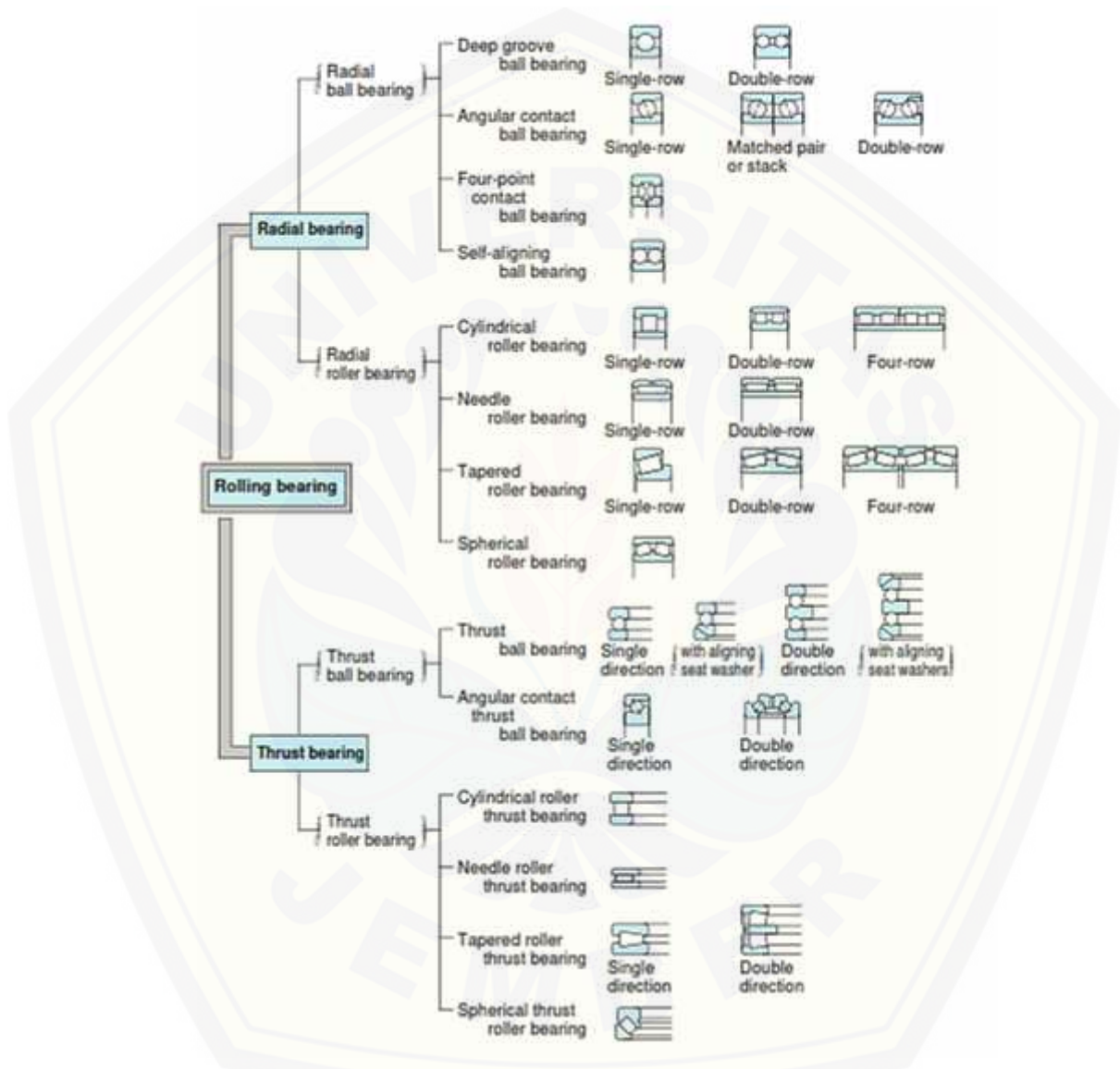
Gambar 2.5 Macam-macam bantalan luncur (Ir. Sularso, 1997)

2. 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* Bantalan (Koyo, 1997)

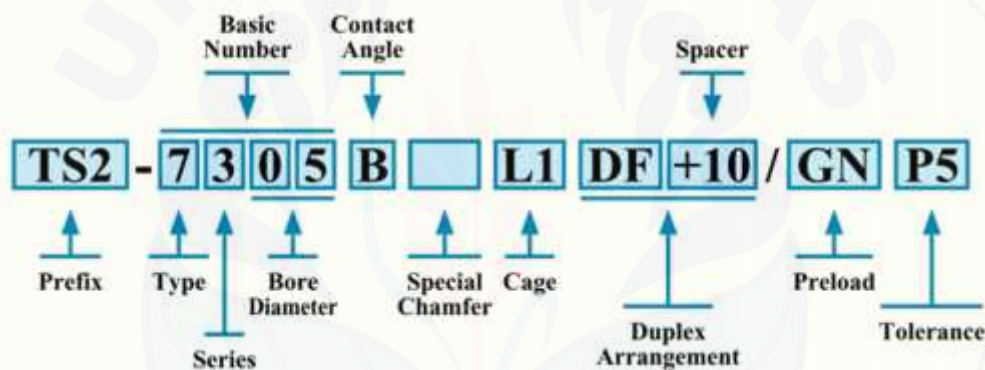
Pada waktu memilih bantalan, ciri masing-masing harus dipertimbangkan sesuai dengan pemakaian, lokasi, dan macam beban yang akan dialami.

2.1.3 Kode dan Spesifikasi

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).

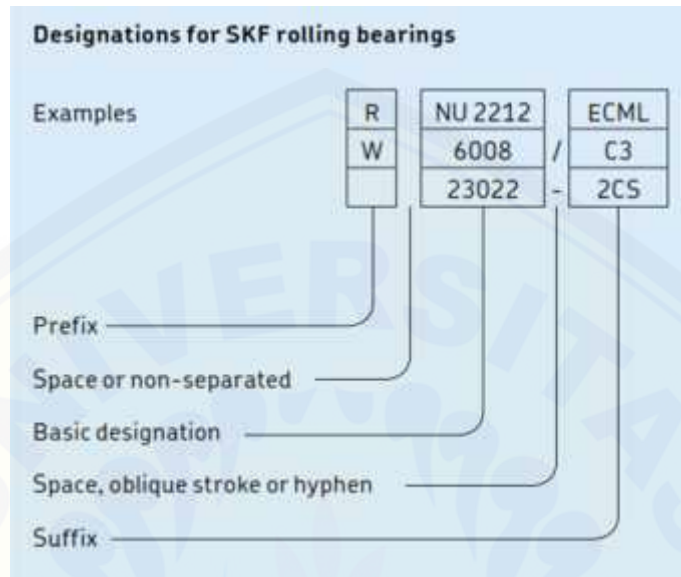


Gambar 2.7 Kode dan spesifikasi bantalan (NTN, 2009)

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).

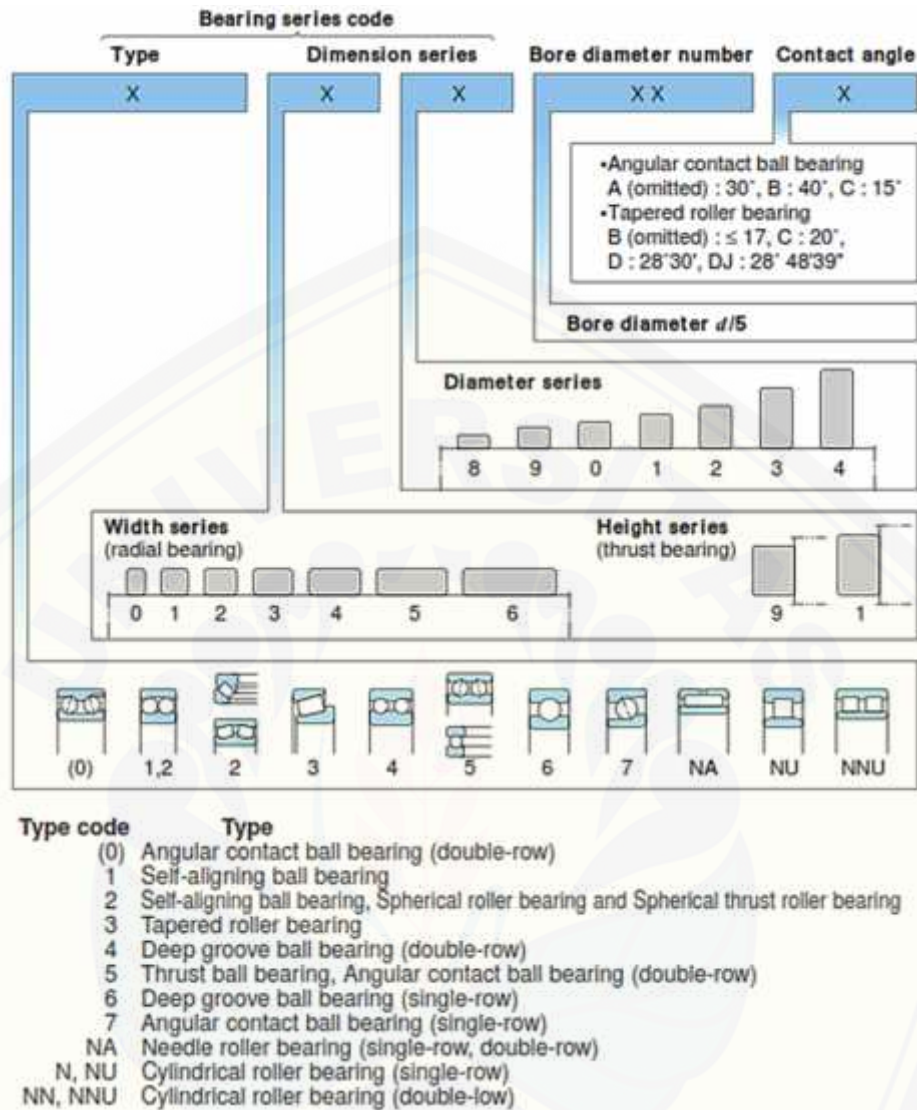


Gambar 2.8 *Rolling Contact* Bantalan (SKF, 2016)

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

Bantalan bola 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

Bantalan bola 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).



Gambar 2.9 Nomor seri untuk jenis bantalan (Koyo, 1997)

Di bawah ini akan diberikan contoh nomor nominal dan artinya.

1. 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

2. 22220 K C3

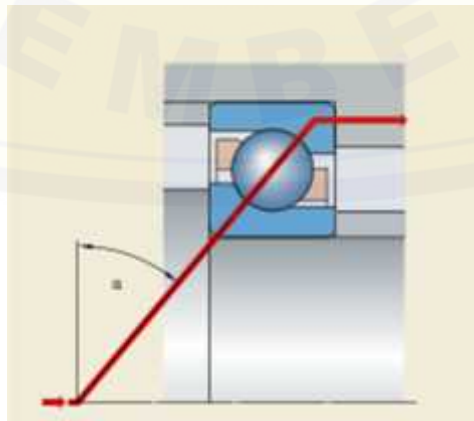
Dimana: 2 menyatakan bantalan rol mapan sendiri
 22 menunjukkan diameter luar 200 (mm) dan lebar 53 (mm)
 20 berarti $20 = 100$ (mm) diameter lubang
 K berarti 1/12 tirus lubang, kelas ketelitian 0
 C3 kelonggaran C3

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).

2.2 Angular Contact Ball Bearing

Angular contact ball bearing memiliki lintasan di cincin dalam dan luar yang saling menggantikan satu sama lain dalam arah sumbu bantalan. Ini berarti bahwa mereka dirancang untuk menampung beban gabungan yaitu beban radial dan aksial secara bersamaan.

Semakin meningkatnya sudut kontak pada *angular contact ball bearing*, semakin tinggi kapasitas beban aksial pada bantalan. Sudut kontak didefinisikan sebagai sudut antara garis yang menghubungkan titik-titik kontak bola dan garis-garis di bidang radial, di mana beban ditransmisikan dari satu raceway ke yang lain, dan sebuah garis yang tegak lurus dengan poros bantalan (SKF, 2016).



Gambar 2.10 Sudut kontak bantalan (SKF, 2016)

Adapun desain yang paling umum digunakan adalah :

1. *Single row angular contact ball bearing*

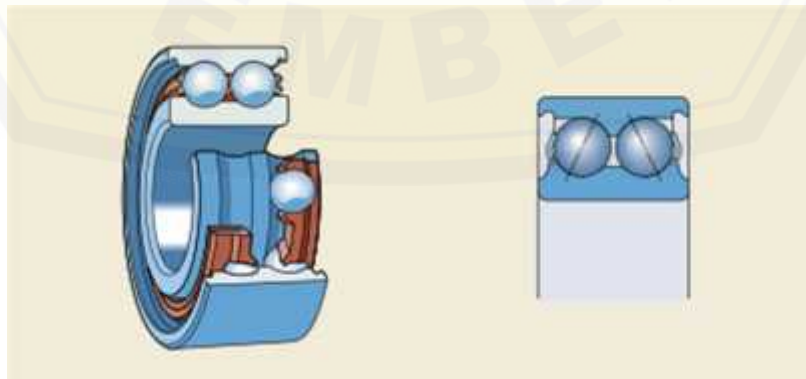
Single row angular contact ball bearing yaitu tipe baris tunggal yang hanya dapat menahan beban aksial dalam satu arah. Bearing ini tidak di desain secara terpisah dan cincin bantalan memiliki satu pelindung atas dan satu pelindung bawah. Pelindung yang bawah memungkinkan sejumlah besar bola untuk masuk kedalam bantalan, sehingga memberikan kapasitas beban yang relatif tinggi.



Gambar 2.11 Tipe *Single row angular contact ball bearing* (SKF, 2016)

2. *Double row angular contact ball bearing*

Double row angular contact ball bearing didesain sesuai dengan dua *Single row angular contact ball bearing* diatur secara *back-to-back*, tetapi menyebabkan beban untuk gaya aksial lebih sedikit. Bantalan ini dapat menahan beban radial serta beban aksial di kedua arah dan juga mampu menahan momen miring.



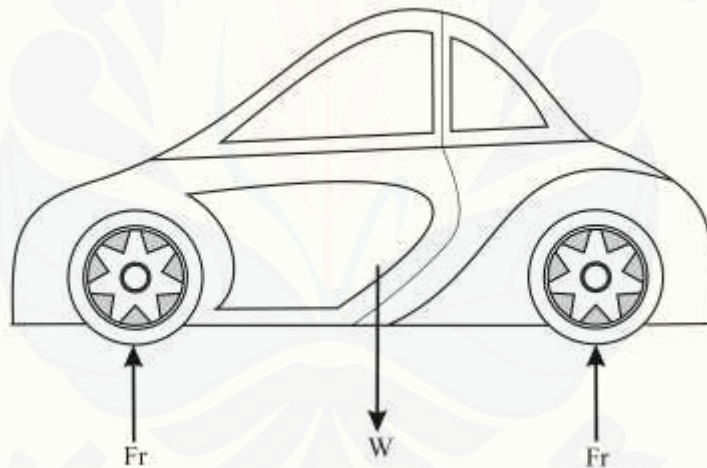
Gambar 2.12 Tipe *double row angular contact ball bearing* (SKF, 2016)

2.3 Beban Pada Bantalan

Besarnya beban adalah salah satu faktor yang biasanya menentukan ukuran bantalan. Ada 2 jenis beban yang bekerja pada bantalan yaitu beban radial dan beban aksial. Umumnya, bantalan rol mampu mendukung beban yang lebih berat daripada bantalan bola berukuran serupa. Sehingga dalam pemilihan bantalan harus disesuaikan dengan konstruksinya yang sesuai dengan beban yang diterima.

2.3.1 Beban Radial Bantalan

Beban radial bantalan yaitu bantalan yang arah beban yang ditumpunya adalah tegak lurus pada sumbu poros. Pada kendaraan, untuk mendapatkan beban radial dapat dilakukan dengan cara menentukan posisi titik berat keseluruhan dari pusat massa (COG / *Center of Gravity*). Pengukuran dilakukan dengan menimbang berat yang dialami roda pada posisi benar-benar horizontal dan diberi alat ukur berupa timbangan.



Gambar 2.13 Skema beban radial pada mobil listrik

Rumus perhitungan dari beban radial yaitu:

$$W = F_r \times \text{Jumlah roda} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana W : (m.g) Berat kendaraan keseluruhan

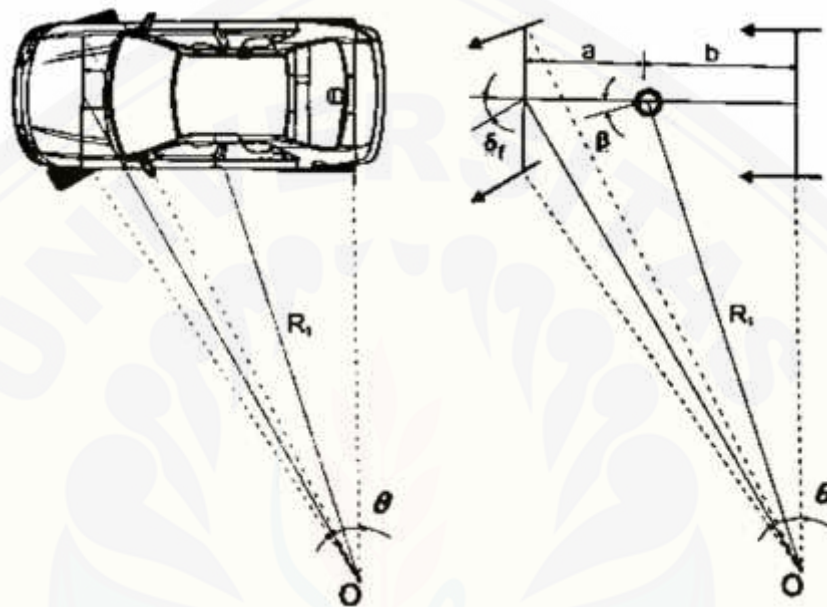
F_r : Gaya radial pada masing-masing roda

2.3.2 Beban Aksial Bantalan

Beban aksial bantalan dapat diamsusikan pada sebuah kendaraan pada mobil berbelok. Saat mobil berbelok dimana arah beban sejajar dengan sumbu poros

roda. Pada mobil yang berjalan ketika berbelok terjadi 2 gaya yaitu gaya radial dan gaya aksial yang disebut dengan gaya tangensial.

Kondisi ideal dari kendaraan belok adalah disebut juga sebagai kondisi ackerman yaitu dimana pada semua roda tidak terjadi slip, sehingga arah gerak dari roda sama dengan arah bidang putar dari roda.



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

Keterangan:

- O = Pusat putar sementara
- R_1 = Radius belok ideal atau ackerman
- θ = Sudut belok ideal
- β = Sudut side slip kendaraan
- δ_f = Sudut steer rata-rata dari roda depan

Pada saat kendaraan berbelok akibat gaya kesamping pada roda depan dan belakang maka akan terjadi kemungkinan kendaraan skid pada roda depan atau roda belakang atau kedua-duanya. Jika terjadi skid pada saat bebelok maka akan mengakibatkan kendaraan akan menjadi sulit dikendalikan. Skid pada roda depan tidak akan terjadi jika gaya kesamping pada roda depan lebih kecil atau sama dengan gaya gesek yang mampu didukung oleh roda depan.

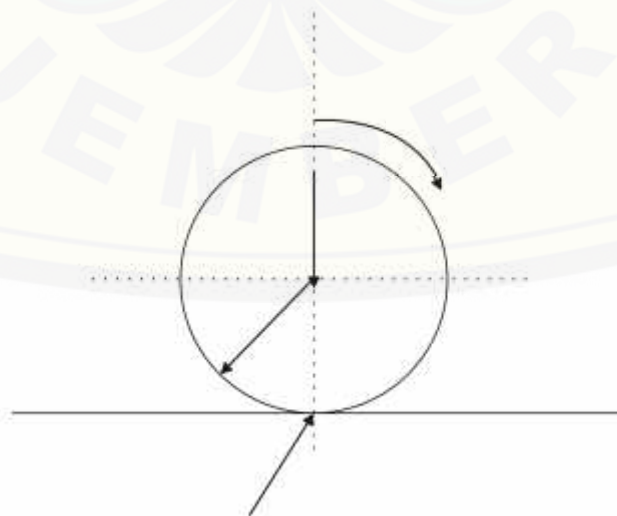
2.4 Rolling resistance

Rolling resistance adalah gaya hambatan yang perlu dikompensasi dengan gaya luar untuk mempertahankan kecepatan. Pada dasarnya, *rolling resistance* adalah momen yang diterapkan untuk melawan arah gerakan, sementara gaya diperlukan untuk menggerakkan benda (Hamid Taghavifar, 2014).

2.4.1 Pemodelan Rolling resistance

Rolling resistance itu sendiri tergantung oleh berbagai faktor seperti permukaan jalan, tapak ban, tekanan ban dan diameter ban. Kerugian gesekan pada bantalan tidak termasuk dalam *rolling resistance* (RR). Namun, ini akan menyebabkan kerugian yang akan terjadi selama mobil bergerak dan ketika diukur dalam percobaan di luar ruangan sangat berpengaruh terhadap total nilai resistensi (Daniel Meyer, 2016).

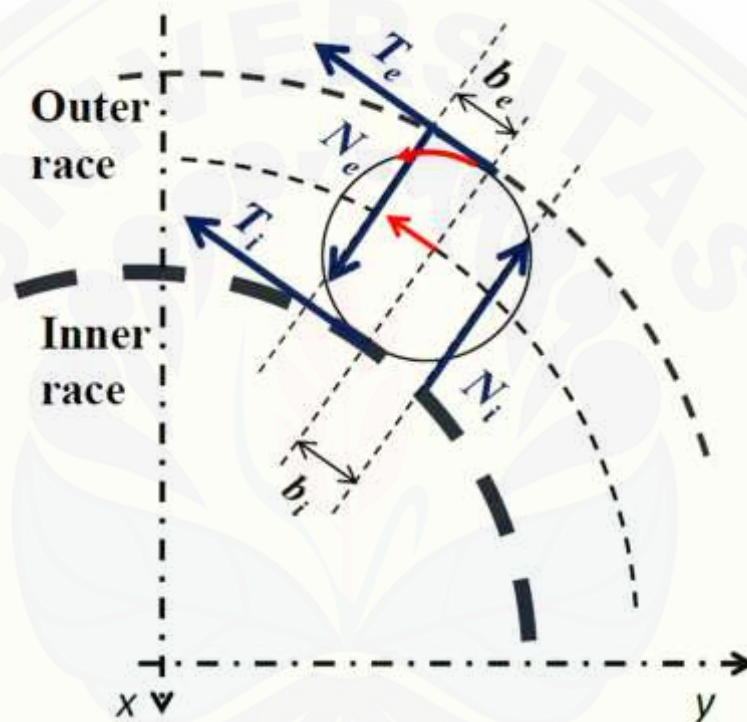
Pendekatan ini didasarkan pada hipotesis bahwa fenomena *rolling resistance* terjadi karena interaksi antara elemen yang diam dan elemen bergulir, yang menyebabkan adanya gaya tangensial. Dari gambar 2.15 menunjukkan bahwa bantalan mendapat gaya normal (N) sebesar beban yang ditumpu, kemudian adanya kontak gesek antar elemen yang terjadi dengan bergerak maju pada bidang datar dan gaya-gaya luar yang berlawanan arah (F_r) dengan arah gerak elemen bergulir yang sedang berjalan di atas suatu jalur. dan r adalah radius elemen bergulir dari bantalan yang dipengaruhi kecepatan sudut (ω).



Gambar 2.15 Fenomena *rolling resistance* (G. Komandi, 2016)

- Dimana: F_r = Gaya *rolling resistance* (N)
 r = radius elemen bergulir (m)
 ω = kecepatan sudut (rad/s)
 W = Beban (N)

Berikut gambar 2.14 merupakan fenomena *rolling resistance* digambarkan dalam free body diagram antara elemen rolling dan permukaan inner bantalan.

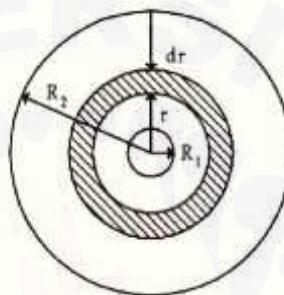


Gambar 2.16 Fenomena free body diagram *rolling resistance* pada gaya tangensial
 (Jose L. Gomez, 2016)

- Dimana: b = jarak antara elemen rolling dan titik gaya normal
 r = radius elemen rolling bantalan
 N = gaya normal
 ω = kecepatan sudut

2.4.2 Momen Inersia

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



Gambar 2.17 Bentuk geometri bantalan silinder berongga (Wang, 2017)

Gambar 2.17 merupakan asumsi pemodelan rumus momen inersia pada bantalan. Sesuai dengan asumsi diatas maka rumus momen inersia (I) yang digunakan yaitu rumus inersia slinder berongga sebagai berikut:

$$I = \frac{1}{2} m \times (R_2^2 + R_1^2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

I = Momen inersia (kg.m²)

m = Massa benda (kg)

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

2.4.3 Perhitungan *Rolling Resistance*

Metode pengujian *rolling resistance* pada penelitian ini akan menggunakan gabungan dari standard ISO 18164 dan pengujian sebelumnya. Perhitungan *rolling resistance* dari gaya hambat yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi pada *flywheel*. *Flywheel* merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk gerak rotasi pada poros. *Rolling resistance* dihitung dengan nilai yang diperoleh dari pengujian bantalan dengan variasi pembebanan dan variasi

kecepatan poros. Gaya hambat dari bantalan disebabkan adanya torsi pada sumbu rotasi poros (A.B. Abrahamsen, 2001).

$$\tau = R_D \cdot F_D = -I \frac{d\omega}{dt} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana: τ = Torsi (N)

F_D = Gaya hambat (N)

R_D = Jari-jari inner bantalan (m)

I = Momen inersia (N.m²)

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

dt = Perubahan waktu (s)

Koefisien *rolling resistance* (C_R), dihitung dengan membagi gaya hambat dengan beban terhadap gaya gravitasi dengan persamaan:

$$C_R = \frac{F_D}{F_L} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana: C_R = koefisien *rolling resistance*

F_D = Gaya hambat (N)

F_L = Beban pada bantalan (N)

Sehingga C_R memiliki persamaan sebagai berikut:

$$C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(R_2^2 + R_1^2) d\omega}{g R_D dt} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana: C_R = koefisien *rolling resistance*

R_2^2 = jari-jari *flywheel* (m)

R_1^2 = jari-jari outer bantalan (m)

R_D = jari-jari inner bantalan (m)

$d\omega$ = perubahan kecepatan sudut (rad/s)

dt = perubahan waktu (s)

g = gravitasi (9,8 m/s²)

Roliing resistance dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_r = C_R \cdot F_L \dots\dots\dots (2.6)$$

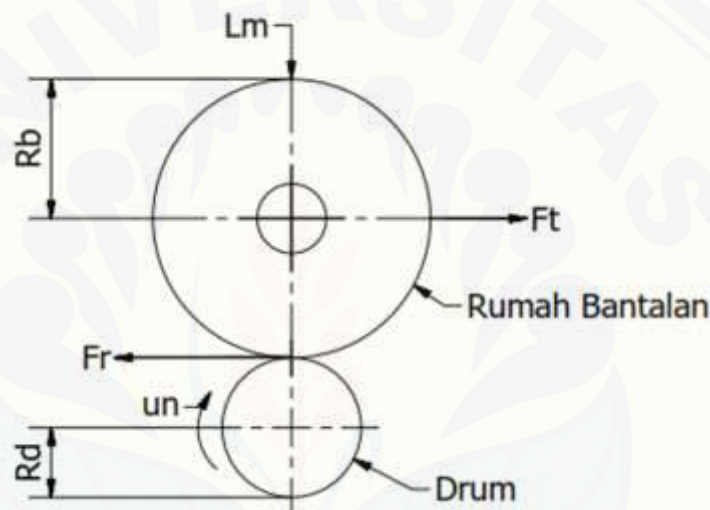
Dimana: F_r = *rolling resistance* (N)

C_R = koefisien *rolling resistance*

F_L = Beban pada bantalan (N)

2.4.4 Standar Pengujian *Rolling resistance* ISO 18164: 2005

Standar Internasional ini menetapkan metode untuk mengukur nilai *rolling resistance*. Sebuah alat uji laboratorium untuk *rolling resistance* terdiri dari drum tes, silinder sejajar dengan pusat drum, dan ban yang akan diuji. Ban yang senggolkan terhadap drum, yang diputar oleh motor. *Rolling resistance* ban mengacu terhadap efek pengereman rotasi drum, dan efek ini diterjemahkan ke dalam pengukuran kekuatan, torsi, deselerasi, dll. *Rolling resistance* kemudian dihitung dari pengukuran seperti skema gambar.



Gambar 2.18 Free Body Diagram pengujian *rolling resistance*
(Standar ISO 18164, 2005)

Keterangan: u_n = Kecepatan uji

L_m = Beban pada bantalan arah gaya normal terhadap permukaan drum

R_b = Jari-jari rumah bantalan

R_d = Jari-jari dari drum

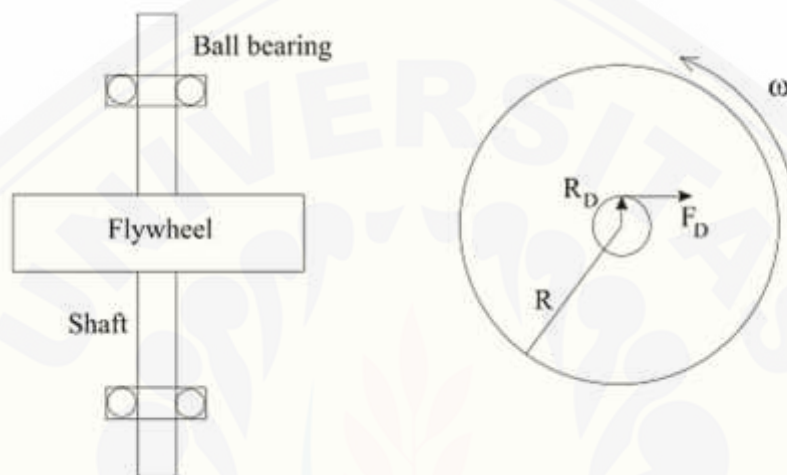
F_r = Gaya *rolling resistance*

F_t = Gaya tangensial bantalan

2.4.5 Standar Pengujian *Bearing*

Standar pengujian *rolling resistance* bantalan kali ini akan menggunakan standar pengujian *rolling resistance* ban dan standar pengujian bantalan yang telah dilakukan oleh Ahmad Fitoyo dan A.B. Abrahamsen. Bantalan yang

berputar pada kecepatan tertentu akan diberi variasi pembebanan. Gaya *rolling resistance* bantalan diperoleh dengan menghitung *coefficient of friction* dari *drag force* elemen gelinding bantalan. Sehingga standar pengujian *rolling resistance* bantalan kali ini akan mengkolaborasikan standar yang dipakai oleh Ahmad Fitoyo dan A.B. Abrahamsen dengan standar ISO 18164. Berikut ilustrasi metode pengujian *rolling resistance* pada bantalan dengan pembebanan pada flywheel.



Gambar 2.19 Ilustrasi metode pengujian *rolling resistance* pada bantalan
(A.B. Abrahamsen, 2001)

Dimana: ω = kecepatan sudut (rad/s)
 R = jari-jari flywheel (m)
 R_D = jari-jari inner bantalan (m)
 F_D = gaya hambat (N)

2.5 Mobil Listrik

Mobil listrik merupakan kendaraan yang dibuat dengan penggerak motor listrik dengan energi baterai sebagai sumber penggerakannya. 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. Namun pada 1970-an dan tahun 1980 an terjadi krisis energi yang kembali membangkitkan minat produsen untuk beralih ke mobil listrik yang terjadi pada tahun 2000an. Pada tahun 2000an efek pemanasan global sudah sangat dirasakan dan diiringi pula dengan kenaikan

harga minyak dunia yang melambung tinggi, permasalahan inilah yang menjadi latar belakang dikembangkan kembali mobil listrik (Arif, 2018).

Universitas Jember merupakan salah satu dari perguruan tinggi yang ikut serta dalam pengembangan mobil listrik. Pengembangan mobil listrik di Universitas Jember sudah dimulai sejak tahun 2009 dan anggota dalam pengembangan mobil listrik adalah mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Jember. Mobil listrik ini terus dikembangkan dan juga mengikuti lomba pada event-event besar yang rutin dilakukan setiap tahunnya.



Gambar 2.20 Mobil listrik Titen *Prototype* dan Urban Universitas Jember (Arsip pribadi)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dalam jangka waktu (4) bulan yaitu dimulai dari bulan september sampai dengan bulan Januari 2019 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 rolling resistance dari bearing. Alat ini di desain dengan mengkombinasikan antara alat pengujian bearing sesuai standar pengujian *rolling resistance* menggunakan standar ISO 18164: 2005.



Gambar 3.1 Alat uji *rolling resistance*

b. Motor Listrik AC

Spesifikasi Motor AC tipe YC80C-2 : 0,75 kW, 1 HP, 2850 rpm, 2 phase, 220 V.



Gambar 3.2 Motor listrik

c. Kopling

Kopling yang digunakan adalah kopling tetap yaitu sebagai penerus putaran dan daya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan secara pasti (tanpa terjadi slip), dimana sumbu kedua poros tersebut terletak pada satu garis lurus atau berbeda sedikit sumbunya.



Gambar 3.3 Kopling tetap

d. *Flywheel*

Fungsi *Flywheel* adalah untuk menyimpan tenaga putar (inertia) di dalam mesin. Pada saat tenaga mesin bertambah, putaran juga bertambah, kelebihan

tenaga tersebut akan tersimpan di dalam *Flywheel*. Pada saat mesin kekurangan tenaga, *Flywheel* akan menyuplai tenaga yang telah disimpan sebelumnya. Hasilnya mesin dapat berputar dengan selaras dan rata, sebagai akibat dari getaran tenaga yang dihasilkan *Flywheel*.



Gambar 3.4 *Flywheel* diameter 0,176 meter

e. 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 3.5 Tachometer

3.2.2 Bahan

Bantalan yang digunakan untuk pengujian yaitu tipe *single row angular contact ball bearing* (7200, 7201) dan *double row angular contact ball bearing* (5200, 5201). Dalam pengujian ini dilakukan tanpa di beri pelumas, sehingga setiap setelah diuji, bearing yang dipakai harus dibersihkan.

Tabel 3.1 Spesifikasi *single row angular contact ball bearing*

| Kode | Diameter | | | Beban Dasar | |
|------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| | Inner (mm) | Outer (mm) | Tebal (mm) | Dinamis C (kN) | Statis C ₀ |
| 7200 | 10 | 30 | 9 | 7,02 | 3,35 |
| 7201 | 12 | 32 | 10 | 7,61 | 3,8 |

Tabel 3.2 Spesifikasi *double row angular contact ball bearing*

| Kode | Diameter | | | Beban Dasar | |
|------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-----------------------|
| | Inner (mm) | Outer (mm) | Tebal (mm) | Dinamis C (kN) | Statis C ₀ |
| 5200 | 10 | 30 | 14 | 7,61 | 4,3 |
| 5201 | 12 | 32 | 15,9 | 10,1 | 5,6 |

3.3 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap ini merupakan langkah awal dalam suatu penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh adanya gaya tangensial pada bantalan terhadap nilai *rolling resistance*, untuk mendapatkan gaya hambatan pada bantalan sekecil mungkin. Tahapan ini terdiri dari:

1. Studi lapangan dan identifikasi variabel

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi sebanyak-banyaknya yang berhubungan dengan mobil listrik. Dengan melakukan beberapa riset yang bertujuan untuk mencari efisiensi bahan bakar listrik sehingga nantinya dapat memperoleh obyek yang akan diteliti. Studi lapangan ini meliputi tentang nilai *rolling resistance*. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui permasalahan yang terdapat di mobil listrik.

2. Studi Pustaka

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.

3. Perumusan Masalah dan Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh adanya kecepatan putar, gaya tangensial, terhadap *rolling resistance* untuk mendapatkan gaya *rolling* pada *angular contact ball bearing* sekecil mungkin. Sehingga dapat dijadikan sebagai landasan untuk pemilihan bantalan yang sesuai untuk suatu perlombaan mobil listrik tipe urban.

4. Penentuan Variabel

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

1) Variabel terikat

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

2) Variabel kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah tipe bantalan *single row angular contact ball bearing* dan *double row angular contact ball bearing*.

3) Variabel bebas

Merupakan variabel yang dapat mempengaruhi terjadinya *rolling resistance*. Variabel bebas dalam penelitian ini antara lain putaran bantalan yang digunakan pada pengujian yaitu 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm. Beban yang digunakan pada pengujian yaitu 200 N.

4) Parameter yang digunakan

Menentukan variabel ini bertujuan untuk memperoleh variabel yang akan digunakan atau diamati dalam penelitian. parameter yang digunakan yaitu:

a) Penentuan putaran bantalan

Dalam menentukan level putaran bantalan yaitu berdasarkan regulasi SEM (Shell Eco Marathon) yaitu:

- 1) Track length : 1,1 km / lap kali 10 lap
- 2) Full lap / distance : 11 km
- 3) Time Limit : 30 menit.

b) Penentuan beban pada bantalan

Penentuan beban berdasarkan dari berat mobil ditambah berat pengemudi. Pada saat ini berat mobil 110 kg. Sedangkan pada kategori lain untuk berat pengemudi maksimal yaitu 50 kg. Jadi untuk beban, diasumsikan dari berat pengemudi, yakni 200 N.

Tabel 3.3 Variasi Pengujian yang digunakan

| Nomer | Putaran bantalan (rpm) | Beban | Percobaan |
|-------|------------------------|-------|-----------|
| 7200 | 290 | 200 N | 5 kali |
| | 310 | 200 N | 5 kali |
| | 330 | 200 N | 5 kali |
| 7201 | 290 | 200 N | 5 kali |
| | 310 | 200 N | 5 kali |
| | 330 | 200 N | 5 kali |
| 5200 | 290 | 200 N | 5 kali |
| | 310 | 200 N | 5 kali |
| | 330 | 200 N | 5 kali |
| 5201 | 290 | 200 N | 5 kali |
| | 310 | 200 N | 5 kali |
| | 330 | 200 N | 5 kali |

3.4 Tahap Pelaksanaan Pengujian

3.4.1 Metode Pengujian

Dalam penelitian ini metode pengujian yang akan dilakukan adalah metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan cara mengamati nilai *rolling resistance* pada bantalan. Nilai yang diamati yaitu nilai perlambatan (d) dan selisi waktu (dt) sebagai data untuk perhitungan koefisien *rolling resistance* (Cr).

Setelah mengetahui nilai (Cr) pada masing masing kecepatan putar, Cr digunakan sebagai faktor pengali terhadap (FL) untuk memperoleh nilai *rolling resistance* (Fr).

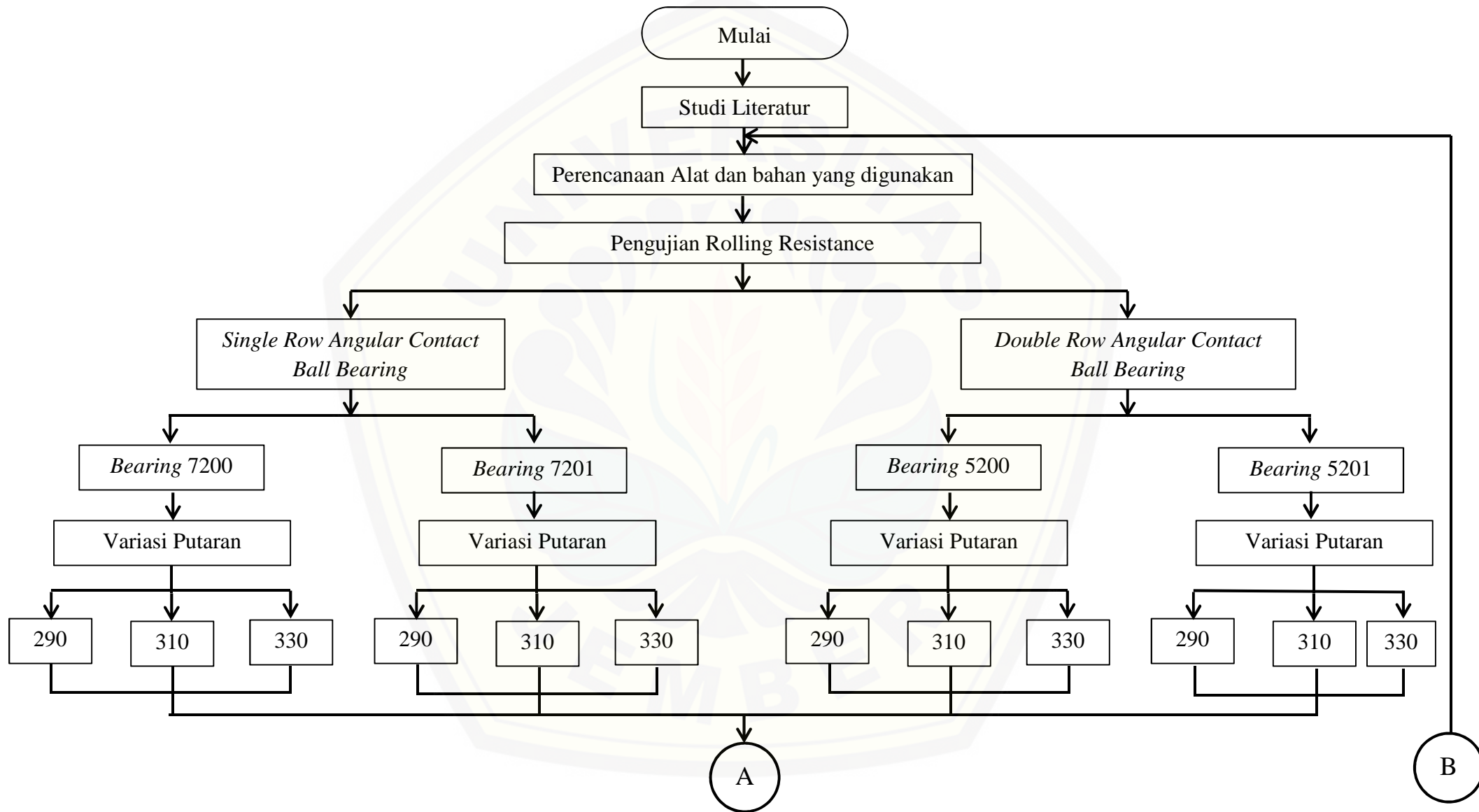
3.4.2 Langkah Pengujian

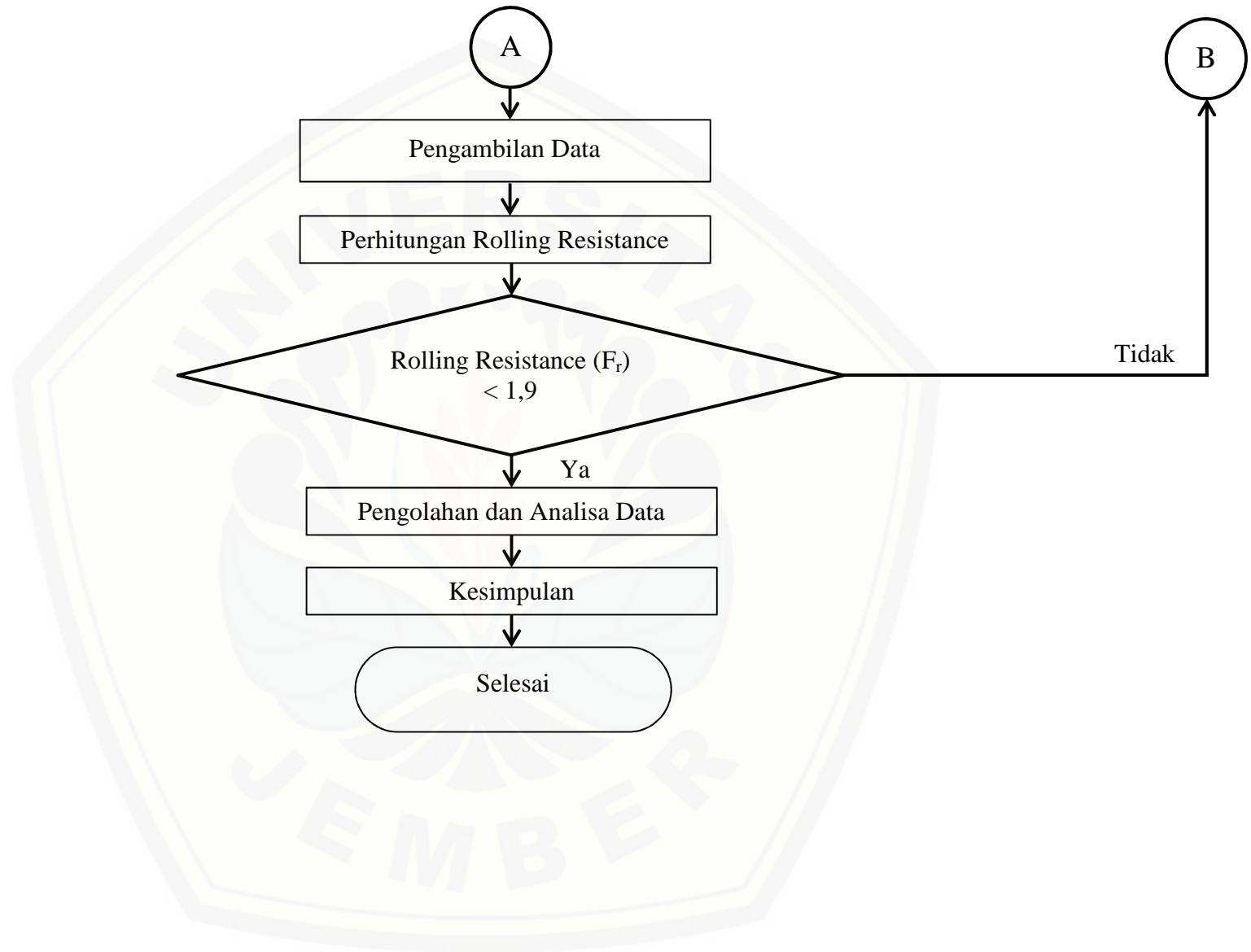
Dalam penelitian ini, langkah pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian *rolling resistance* ini adalah :

- a. Perancangan alat uji *Rolling resistance* dan membuat gambar teknik, diperlukan guna mem-visualisasikan konstruksi alat pengujian dalam bentuk gambar teknik beserta dimensi dengan menggunakan software CAD;
- b. Merakit komponen bantalan dengan perbedaan tipe bantalan sesuai pada variabel bebas penelitian;
- c. Memasang bantalan pada alat uji *rolling resistance* sesuai dengan satandar pengujian;
- d. Memastikan kelistrikan alat dan menyalakan motor listrik sesuai variasi kecepatan tanpa diberikan beban untuk mendapatkan nilai perlambatan (d) dan selisih waktu (dt);
- e. Bantalan yang diuji pada kondisi posisi standar pengujian dimana beban radial diberikan pada *flywheel*;
- f. Variasi putaran diberikan pada bantalan, kemudian mencatat nilai koefisien *rolling resistance* (Cr);
- g. Ulangi langkah-langkah b sampai f diatas pada variasi bantalan tipe *angular contact ball bearing* terhadap nilai dan koefisien *rolling resistance*.

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.





BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

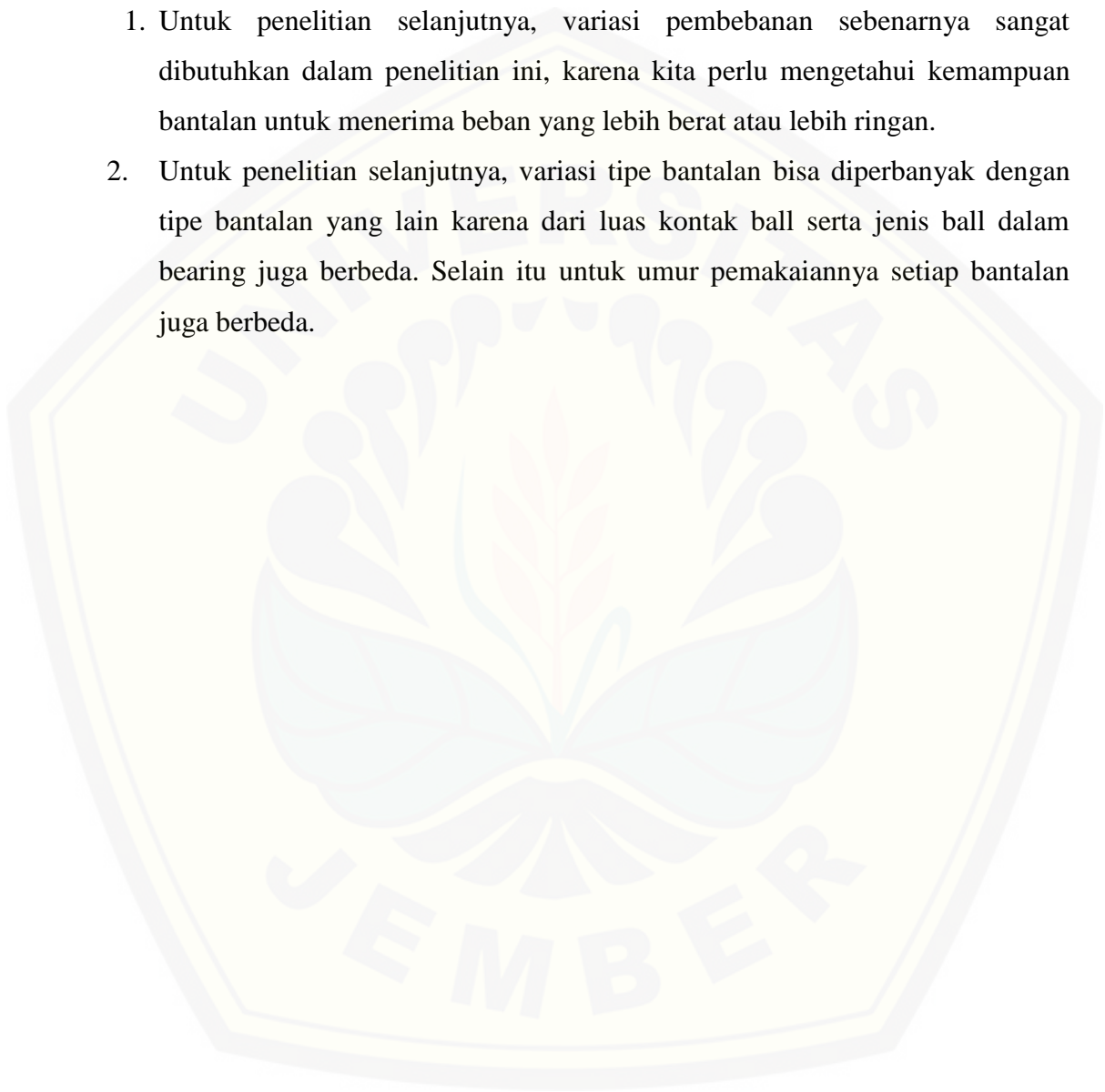
Dari hasil penelitian yang didapat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari penelitian yang telah dilakukan bahwa gaya *rolling resistance* akan semakin meningkat ketika putaran bantalan berada diputaran 330 rpm. Sehingga setiap kenaikan putaran bantalan akan terjadi kenaikan nilai gaya *rolling resistance* di tipe *single* dan *double row angular contact ball bearing*. Tipe bantalan yang memiliki gaya *rolling resistance* terkecil di tipe *single row angular contact ball bearing* dengan putaran 290 rpm diperoleh sebesar 0,6531 N sedangkan untuk tipe *double row angular contact ball bearing* didapatkan gaya *rolling resistance* sebesar 0,7562 N.
2. Perbedaan diameter inner dan outer mempengaruhi nilai gaya rolling resistance. pengaruh diameter inner dan outer bantalan ini akan mempengaruhi nilai momen inersia. Tipe *single row angular contact ball bearing* (7201) memiliki diameter *inner* 12 mm dan diameter *outer* 32 mm memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil dibandingkan dengan tipe *single angular contact ball bearing* (7200) dengan diameter *inner* 10 mm dan diameter *outer* 30 mm. Hal ini dikarenakan diameter *inner* (R_D) bebanding terbalik dengan nilai koefisien *rolling resistance* (C_R).
3. Pengaruh luas area kontak juga mempengaruhi nilai gaya rolling resistance. Semakin besar luas area kontak bantalan maka nilai gaya rolling resistance akan semakin meningkat. Pada tipe bantalan *double row angular contact ball bearing* (5200, 5201) diperoleh luas area kontak terbesar pada tipe bantalan *double row* (5201). Sehingga nilai gaya rolling resistance paling kecil didapat pada tipe bantalan *double row angular contact ball bearing* (5200).

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, banyak faktor yang mempengaruhi *rolling resistance* pada bantalan. Perbedaan tipe bantalan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi *rolling resistance*.

1. Untuk penelitian selanjutnya, variasi pembebanan sebenarnya sangat dibutuhkan dalam penelitian ini, karena kita perlu mengetahui kemampuan bantalan untuk menerima beban yang lebih berat atau lebih ringan.
2. Untuk penelitian selanjutnya, variasi tipe bantalan bisa diperbanyak dengan tipe bantalan yang lain karena dari luas kontak ball serta jenis ball dalam bearing juga berbeda. Selain itu untuk umur pemakaiannya setiap bantalan juga berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

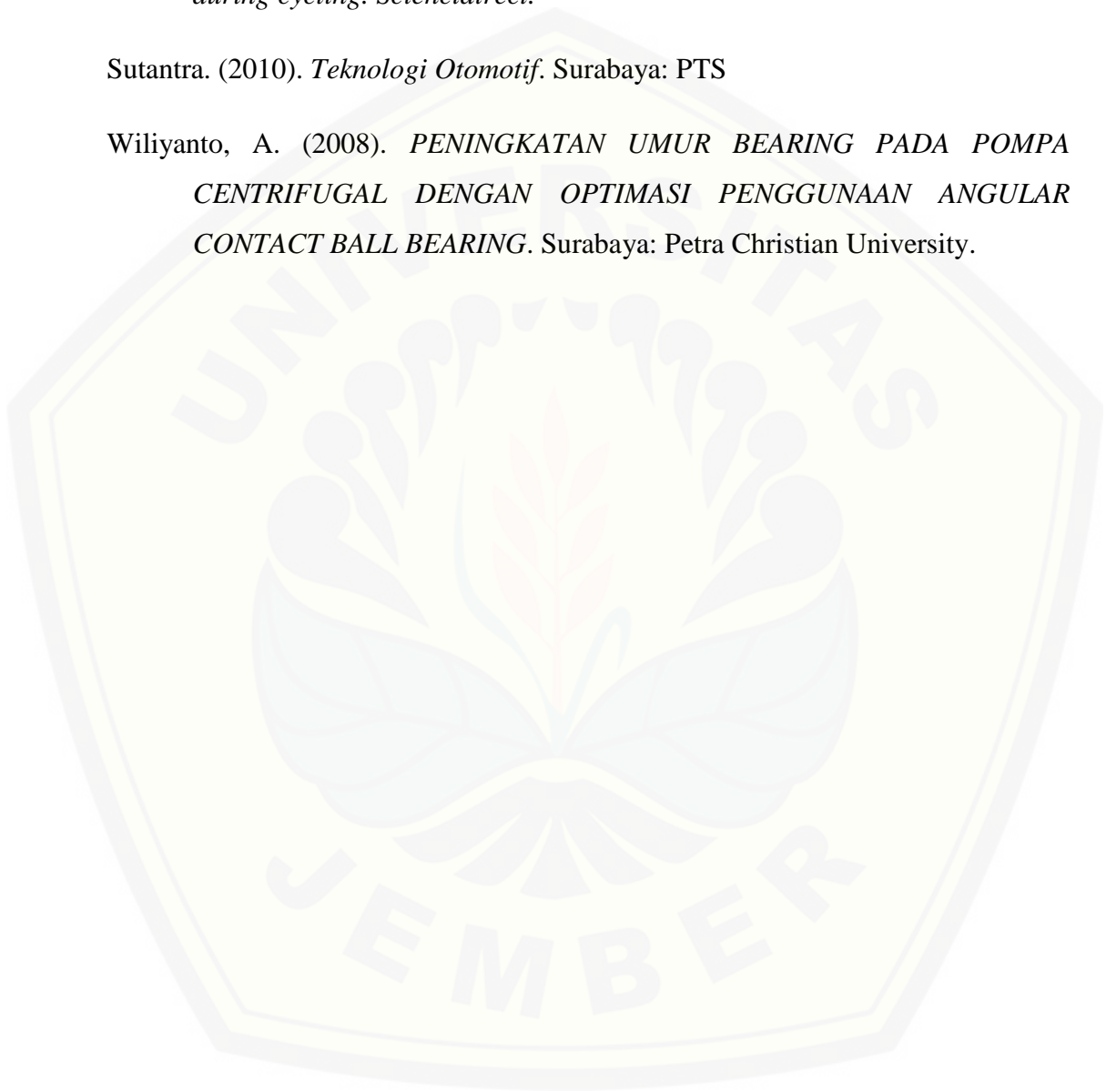
- Abrshamsen, A. B. (2001). *Superconducting Bearings for Flywheel Applications*. Denmark: Forskningscenter Risoe.
- Catalogue, S. (2016). *Rolling Bearing*. Swedia: SKF.
- Catalog a-1000-xi. (2009). *Ball And Roller Bearings*. America: NTN
- Cat. No.203E-1. (1997). *Ball and Roll Bearings*. Koyo
- Chatti, Karim. (2012). *Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating Costs*. Washington: Michigan State UniverSity
- Fauzi, H. (2013). *ANALISIS TEGANGAN PADA FRAME MOBIL LISTRIK SINOSI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA* . Nasional, 1
- Fitoyo, A. (2017). *ANALISIS KUALITAS PRODUK SINGLE DEEP GROOVE BALL BEARING TERHADAP ROLLING RESISTANCE PADA MOBIL LISTRIK TITEN PROTOTYPE*. Jember: Universitas Jember
- Hamid Taghavifar, A. M. (2014). *Wavelet neural network applied for prognostication of contact pressure between soil and driving wheel*. *Sciencedirect*.
- Hanwa, F. (2001). *KBC Rolling Bearing*. FAG HANWHA Bearings Corp.
- IS/ISO 18164 (2005) : Passenger Car, Truck, Bus And Motorcycle Tyres – Methods Of Measuring Rolling Resistance [TED 7: Automotive Tyres, Tubes and Rims]
- 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. Sciencedirect*

Meyer, D. (2016). *What is slowing me down? Estimation of rolling resistances during cycling. Sciencedirect.*

Sutantra. (2010). *Teknologi Otomotif*. Surabaya: PTS

Wiliyanto, A. (2008). *PENINGKATAN UMUR BEARING PADA POMPA CENTRIFUGAL DENGAN OPTIMASI PENGGUNAAN ANGULAR CONTACT BALL BEARING*. Surabaya: Petra Christian University.



LAMPIRAN

Lampiran A. Data dan Hasil Penelitian**1. Perhitungan keliling roda (ukuran 16 inchi)**

Diketahui :

Ukuran roda = 16 inchi

Perhitungan :

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

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

a. Asumsi pada saat lomba

Diketahui :

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

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

Perhitungan :

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

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

Diketahui :

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

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

Perhitungan :

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

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

Diketahui :

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

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

Perhitungan :

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

d. Kecepatan sudut anguler (ω) = $\frac{v}{k}$

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

2. Perhitungan beban flywheel yang diperlukan

Diketahui :

$$\text{Massa mobil (M}_b) = 110 \text{ kg}$$

$$\text{Massa maksimal pengemudi (M}_p) = 50 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa total} &= M_b + M_p \\ &= 110 \text{ kg} + 50 \text{ kg} \\ &= 160 \text{ kg} \end{aligned}$$

Perhitungan beban bantalan :

$$\begin{aligned}\text{Beban Roda} &= \frac{\text{Massa total}}{4} \\ &= \frac{160}{4} \\ &= 40 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban bantalan} &= \frac{\text{Beban roda}}{2} \\ &= \frac{40}{2} \\ &= 20 \text{ kg} \\ &= 200 \text{ N (dalam satuan Newton)}\end{aligned}$$



Tabel A.1 Data hasil pengujian pada *bearing single row angular contact ball bearing* (7200, 7201)

| Nomer Bantalan | Putaran Bantalan (rpm) | Percobaan | Waktu (detik) | R1 (Outer Bantalan) (m) | R2 (Jari-jari flywheel) (m) | RD (Inner bantalan) (m) |
|----------------|------------------------|-----------|---------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 7200 | 290 | 1 | 2095 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 2 | 1522 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 3 | 1554 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 4 | 1581 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 5 | 1615 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | 310 | 1 | 2172 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 2 | 1577 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 3 | 1620 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 4 | 1645 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 5 | 1680 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | 330 | 1 | 2248 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 2 | 1640 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 3 | 1685 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 4 | 1710 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 5 | 1747 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| 7201 | 290 | 1 | 2417 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 2 | 2432 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 3 | 2488 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 4 | 2497 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 5 | 2512 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | 310 | 1 | 2485 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 2 | 2512 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 3 | 2565 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 4 | 2577 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 5 | 2593 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | 330 | 1 | 2566 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 2 | 2585 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 3 | 2638 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 4 | 2650 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 5 | 2663 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |

Tabel A.2 Data hasil pengujian pada *bearing double row angular contact ball bearing* (5200, 5201)

| Nomer Bantalan | Putaran Bantalan (rpm) | Percobaan | Waktu (detik) | R1 (Outer Bantalan) (m) | R2 (Jari-jari flywheel) (m) | RD (Inner bantalan) (m) |
|----------------|------------------------|-----------|---------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 5200 | 290 | 1 | 2544 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 2 | 2605 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 3 | 2614 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 4 | 2413 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 5 | 2616 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | 310 | 1 | 2615 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 2 | 2679 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 3 | 2688 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 4 | 2483 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 5 | 2687 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | 330 | 1 | 2676 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 2 | 2737 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 3 | 2754 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 4 | 2544 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| | | 5 | 2746 | 0,015 | 0,176 | 0,005 |
| 5201 | 290 | 1 | 1688 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 2 | 1687 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 3 | 1691 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 4 | 1706 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 5 | 1714 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | 310 | 1 | 1740 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 2 | 1736 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 3 | 1740 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 4 | 1760 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 5 | 1768 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | 330 | 1 | 1790 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 2 | 1792 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 3 | 1790 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 4 | 1813 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |
| | | 5 | 1808 | 0,016 | 0,176 | 0,006 |

Lampiran B. Perhitungan

1. Perhitungan kecepatan sudut (ω)

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

- Putaran bantalan 290 rpm. $\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 290}{60} = 30,35 \text{ rad/s}$
- Putaran bantalan 310 rpm. $\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 310}{60} = 32,45 \text{ rad/s}$
- Putaran bantalan 330 rpm. $\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 330}{60} = 34,54 \text{ rad/s}$

2. Perhitungan koefisien rolling resistance (C_R) putaran 290 rpm

$$C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(R_2^2 + R_1^2) d\omega}{g R_D dt}$$

a. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7200)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2095} = 0,004612$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1522} = 0,006349$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1554} = 0,006218$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1581} = 0,006112$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1615} = 0,005983$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum C_R}{5} = \frac{0,004612+0,006349+0,006218+0,006112+0,005983}{5} = 0,5855 \%$$

b. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7201)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2417} = 0,003335$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2432} = 0,003314$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2488} = 0,003240$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2497} = 0,003228$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2512} = 0,003209$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,003335+0,003314+0,003240+0,003228+0,003209}{5} = 0,3265 \%$$

c. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5200)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2544} = 0,003798$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2605} = 0,003709$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2614} = 0,003696$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2413} = 0,004004$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2616} = 0,003694$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,003798+0,003709+0,004004+0,003694}{5} = 0,3780 \%$$

d. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5201)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1688} = 0,004775$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1687} = 0,004778$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1691} = 0,004767$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1706} = 0,004725$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 30,35}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1714} = 0,004703$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,004775+0,004778+0,004767+0,004725+0,004703}{5} = 0,4749 \%$$

3. Perhitungan koefisien rolling resistance (C_R) putaran 310 rpm

a. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7200)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2172} = 0,004757$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1577} = 0,006550$

- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1620} = 0,006376$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1645} = 0,006279$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1680} = 0,006148$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum C_r}{5} = \frac{0,004757+0,006550+0,006376+0,006279+0,006148}{5} = 0,6022 \%$$

b. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7201)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2485} = 0,003467$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2512} = 0,003430$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2565} = 0,003359$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2577} = 0,003343$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2593} = 0,003323$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum C_r}{5} = \frac{0,003467+0,003430+0,003359+0,003343+0,003323}{5} = 0,3384 \%$$

c. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5200)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2615} = 0,003950$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2679} = 0,003868$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2688} = 0,003843$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2483} = 0,004160$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 32,45}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2687} = 0,003844$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum C_r}{5} = \frac{0,003950+0,003868+0,003843+0,004160+0,003844}{5} = 0,393 \%$$

d. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5201)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1740} = 0,004952$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1736} = 0,004963$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1740} = 0,004952$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1760} = 0,004896$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 32,45}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1768} = 0,004873$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,004952+0,004963+0,004952+0,004896+0,004873}{5} = 0,4927 \%$$

4. Perhitungan koefisien rolling resistance (C_R) putaran 330 rpm

a. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7200)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2248} = 0,004891$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1640} = 0,006705$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1685} = 0,006526$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1710} = 0,006430$
- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1747} = 0,006294$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,004891+0,006705+0,006526+0,006430+0,006294}{5} = 0,6169 \%$$

b. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7201)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2566} = 0,003574$
- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2585} = 0,003548$
- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2638} = 0,003477$
- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2650} = 0,003461$

- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 2663} = 0,003444$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,003574+0,003548+0,003477+0,003461+0,003444}{5} = 0,3501 \%$$

c. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5200)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2676} = 0,004109$

- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2737} = 0,004017$

- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2754} = 0,003993$

- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2544} = 0,004322$

- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,015) 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 2746} = 0,004004$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,004109+0,004017+0,003993+0,004322+0,004004}{5} = 0,4089 \%$$

d. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5201)

- Percobaan 1. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1790} = 0,005124$

- Percobaan 2. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1790} = 0,005118$

- Percobaan 3. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1790} = 0,005124$

- Percobaan 4. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1790} = 0,005059$

- Percobaan 5. $C_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176+0,016) 34,54}{9,8 \cdot 0,006 \cdot 1790} = 0,005073$

Nilai koefisien rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$C_R \text{ rata-rata} = \frac{\sum Cr}{5} = \frac{0,005124+0,005118+0,005124+0,005059+0,005073}{5} = 0,51 \%$$

5. Perhitungan Gaya rolling resistance (F_r) putaran 290 rpm

$$F_r = C_R \cdot F_L$$

a. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7200)

- Percobaan 1. $F_r = 0,004612 \cdot 200 = 0,9225 \text{ N}$

- Percobaan 2. $F_r = 0,006349 \cdot 200 = 1,2698 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,006218 \cdot 200 = 1,2437 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,006112 \cdot 200 = 1,2224 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,005983 \cdot 200 = 1,1967 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,9225+1,2698+1,2437+1,2224+1,1967}{5} = 1,171 \text{ N}$$

b. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7201)

- Percobaan 1. $F_r = 0,003335 \cdot 200 = 0,667 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,003314 \cdot 200 = 0,6629 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,00324 \cdot 200 = 0,648 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,003228 \cdot 200 = 0,6456 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,003209 \cdot 200 = 0,6418 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,667+0,6629+0,648+0,6456+0,6418}{5} = 0,653 \text{ N}$$

c. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5200)

- Percobaan 1. $F_r = 0,003798 \cdot 200 = 0,7597 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,003709 \cdot 200 = 0,7419 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,003696 \cdot 200 = 0,7393 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,004004 \cdot 200 = 0,8009 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,003694 \cdot 200 = 0,7388 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,7597+0,7419+0,7393+0,8009+0,7388}{5} = 0,7561 \text{ N}$$

d. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5201)

- Percobaan 1. $F_r = 0,004775 \cdot 200 = 0,9551 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,004778 \cdot 200 = 0,9556 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,004767 \cdot 200 = 0,9534 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,004725 \cdot 200 = 0,945 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,004703 \cdot 200 = 0,9406 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,9551+0,9556+0,9534+0,945+0,9406}{5} = 0,9499 \text{ N}$$

6. Perhitungan Gaya rolling resistance (F_r) putaran 310 rpm

a. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7200)

- Percobaan 1. $F_r = 0,004756 \cdot 200 = 0,9512 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,006505 \cdot 200 = 1,3101 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,006376 \cdot 200 = 1,2753 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,006279 \cdot 200 = 1,2559 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,006148 \cdot 200 = 1,2297 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,9512+1,3101+1,2753+1,2559+1,2297}{5} = 1,2044 \text{ N}$$

b. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7201)

- Percobaan 1. $F_r = 0,003467 \cdot 200 = 0,6935 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,00343 \cdot 200 = 0,686 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,003359 \cdot 200 = 0,6719 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,003343 \cdot 200 = 0,6687 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,003323 \cdot 200 = 0,6646 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,6935+0,686+0,6719+0,6687+0,6646}{5} = 0,6769 \text{ N}$$

c. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5200)

- Percobaan 1. $F_r = 0,00395 \cdot 200 = 0,79 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,003856 \cdot 200 = 0,7712 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,003843 \cdot 200 = 0,7686 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,00416 \cdot 200 = 0,832 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,003844 \cdot 200 = 0,7689 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,6935+0,686+0,6719+0,6687+0,6646}{5} = 0,6769 \text{ N}$$

d. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5201)

- Percobaan 1. $F_r = 0,004952 \cdot 200 = 0,9904 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,004963 \cdot 200 = 0,9927 \text{ N}$

- Percobaan 3. $F_r = 0,004952 \cdot 200 = 0,9904$ N
- Percobaan 4. $F_r = 0,004896 \cdot 200 = 0,9792$ N
- Percobaan 5. $F_r = 0,004873 \cdot 200 = 0,9747$ N

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,9904+0,9927+0,9904+0,9792+0,9747}{5} = 0,9855 \text{ N}$$

7. Perhitungan Gaya rolling resistance (F_r) putaran 330 rpm

a. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7200)

- Percobaan 1. $F_r = 0,004891 \cdot 200 = 0,9783$ N
- Percobaan 2. $F_r = 0,006705 \cdot 200 = 1,341$ N
- Percobaan 3. $F_r = 0,006526 \cdot 200 = 1,3052$ N
- Percobaan 4. $F_r = 0,00643 \cdot 200 = 1,2861$ N
- Percobaan 5. $F_r = 0,006294 \cdot 200 = 1,2589$ N

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,9783+1,341+1,3052+1,2861+1,2589}{5} = 1,2339 \text{ N}$$

b. Tipe bantalan single row angular contact ball bearing (7201)

- Percobaan 1. $F_r = 0,003574 \cdot 200 = 0,7149$ N
- Percobaan 2. $F_r = 0,003548 \cdot 200 = 0,7097$ N
- Percobaan 3. $F_r = 0,003477 \cdot 200 = 0,6954$ N
- Percobaan 4. $F_r = 0,003461 \cdot 200 = 0,6923$ N
- Percobaan 5. $F_r = 0,003444 \cdot 200 = 0,6889$ N

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,7149+0,7097+0,6954+0,6923+0,6889}{5} = 0,7002 \text{ N}$$

e. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5200)

- Percobaan 1. $F_r = 0,004109 \cdot 200 = 0,8218$ N
- Percobaan 2. $F_r = 0,004017 \cdot 200 = 0,8035$ N
- Percobaan 3. $F_r = 0,003993 \cdot 200 = 0,7986$ N
- Percobaan 4. $F_r = 0,004322 \cdot 200 = 0,8645$ N
- Percobaan 5. $F_r = 0,004004 \cdot 200 = 0,8009$ N

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{0,08218+0,8035+0,7986+0,8645+0,8009}{5} = 0,8179 \text{ N}$$

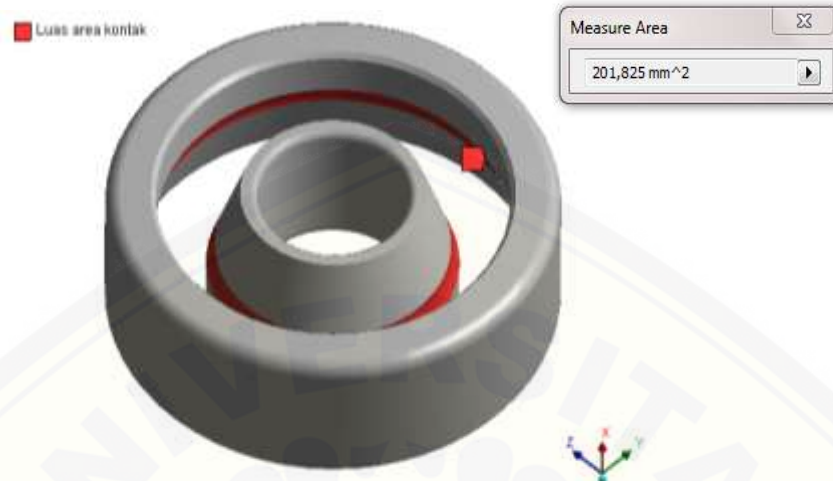
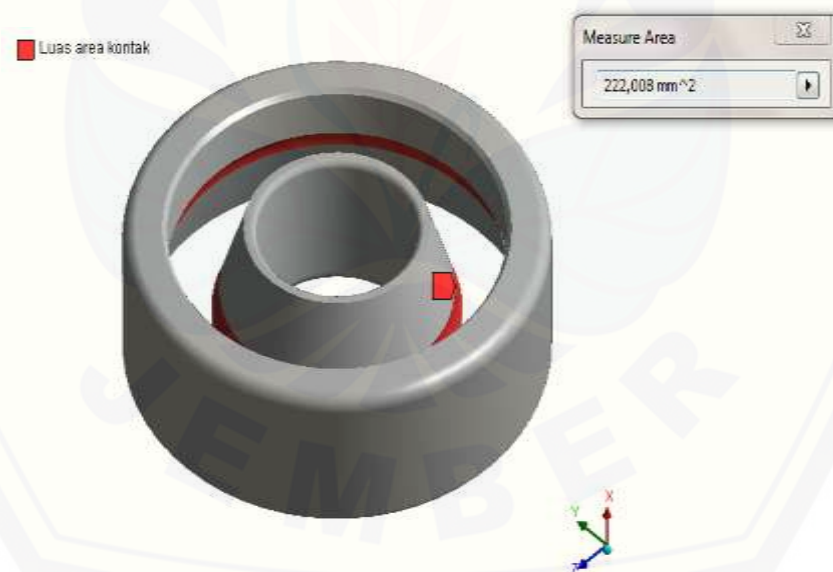
f. Tipe bantalan double row angular contact ball bearing (5201)

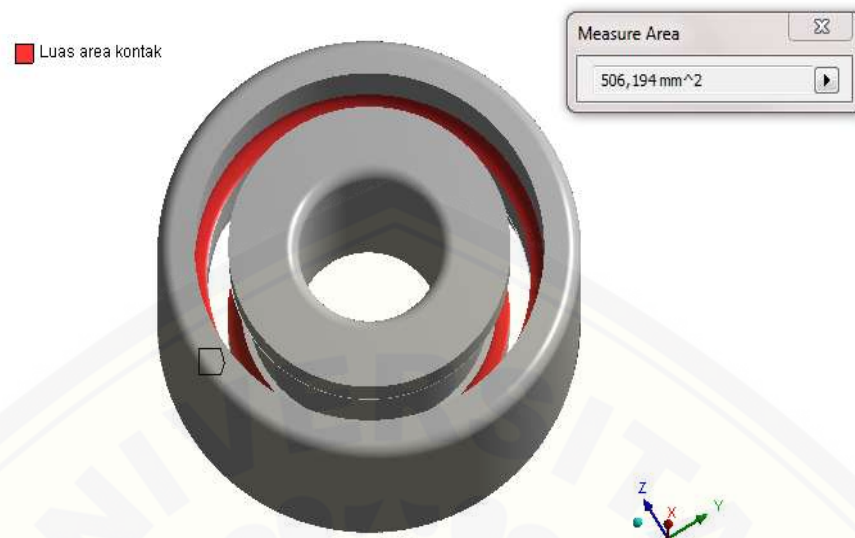
- Percobaan 1. $F_r = 0,005124 \cdot 200 = 1,0249 \text{ N}$
- Percobaan 2. $F_r = 0,005118 \cdot 200 = 1,0237 \text{ N}$
- Percobaan 3. $F_r = 0,005124 \cdot 200 = 1,0249 \text{ N}$
- Percobaan 4. $F_r = 0,005059 \cdot 200 = 1,0119 \text{ N}$
- Percobaan 5. $F_r = 0,005073 \cdot 200 = 1,0147 \text{ N}$

Nilai gaya rolling resistance dari kelima percobaan dirata-rata :

$$F_r \text{ rata-rata} = \frac{\sum Fr}{5} = \frac{1,0249+1,0237+1,0249+1,0119+1,0147}{5} = 1,02 \text{ N}$$

Lampiran C. Pengukuran Luas Area Kontak

Gambar D.1 Luas area kontak pada tipe bantalan *single row angular contact ball bearing* (7200)Gambar D.2 Luas area kontak pada tipe bantalan *single row angular contact ball bearing* (7201)



Gambar D.3 Luas area kontak pada tipe bantalan *double row angular contact ball bearing* (5200)



Gambar D.4 Luas area kontak pada tipe bantalan *double row angular contact ball bearing* (5201)

Lampiran D. Gambar Pengujian Rolling Resistance



Gambar E.1 Alat uji rolling resistance



Gambar E.2 Mobil listrik TITEN Urban



Gambar E.3 Bantalan single dan double row angular contact ball bearing



Gambar E.4 Flywheel 20kg



Gambar E.5 Pemasangan bantalan di flywheel



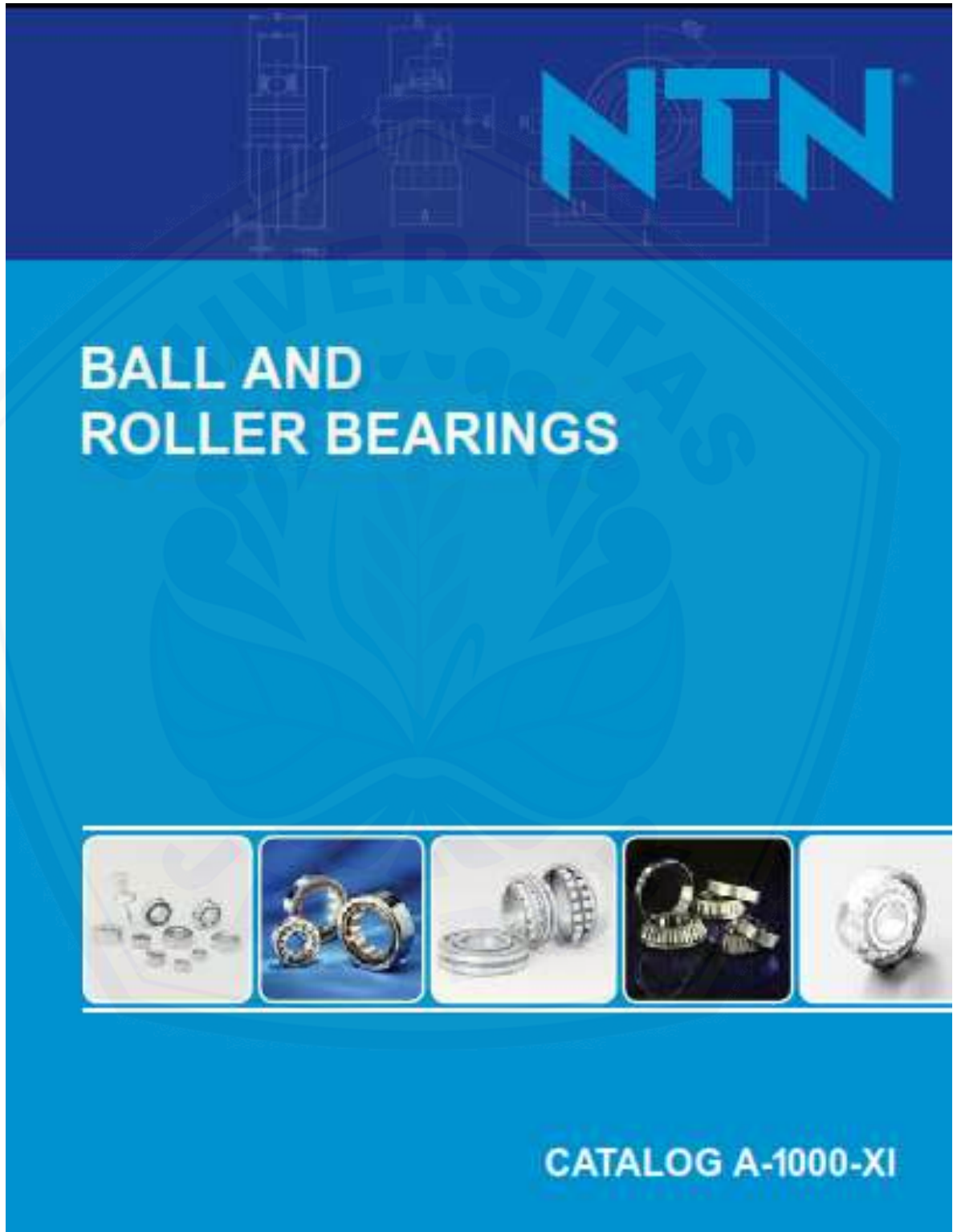
Gambar E.6 Pengujian rolling resistance



Gambar E.7 Pengukuran putaran bantalan

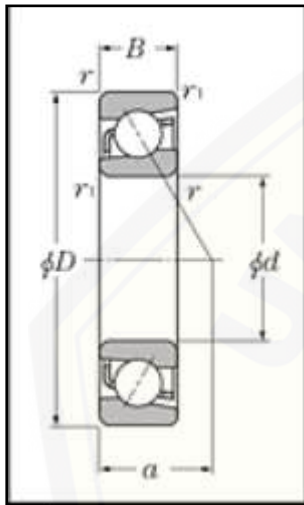
Lampiran E. Tabel spesifikasi bantalan

1. Tabel spesifikasi *single row angular contact ball bearing*





Units: INCHES
Millimeters



30°
Contact Angle
72


| Bearing No. | Bore | | O.D. | Width | | Fillet Radius | | Load Center | Basic Load Ratings (lbs) | | Limiting Speeds (rpm) | | Weight (lbs) | Limiting Speeds (rpm) | |
|-------------|--------------------|----------|--------|----------|----------|----------------------|----------|-------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------|--------------|-----------------------|-----|
| | <i>d</i> | <i>D</i> | | <i>B</i> | <i>r</i> | <i>r₁</i> | <i>a</i> | | Dynamic <i>C</i> | Static <i>C₀</i> | Grease | Oil | | Grease | Oil |
| | Duplex: DB, DF, DT | | | | | | | | | | | | | | |
| 7200 | 0.3937 | 1.1811 | 0.3543 | 0.024 | 0.012 | 0.41 | 1,220 | 615 | 28,000 | 37,000 | 0.064 | 22,000 | 30,000 | | |
| | 10 | 30 | 9 | 0.6 | 0.3 | 10.5 | | | | | | | | | |
| 7201 | 0.4724 | 1.2598 | 0.3937 | 0.024 | 0.012 | 0.45 | 1,600 | 810 | 25,000 | 33,000 | 0.077 | 20,000 | 26,000 | | |
| | 12 | 32 | 10 | 0.6 | 0.3 | 11.5 | | | | | | | | | |
| 7202 | 0.5906 | 1.3780 | 0.4331 | 0.024 | 0.012 | 0.49 | 2,040 | 1,060 | 22,000 | 29,000 | 0.101 | 17,000 | 23,000 | | |
| | 15 | 35 | 11 | 0.6 | 0.3 | 12.5 | | | | | | | | | |
| 7203 | 0.6693 | 1.5748 | 0.4724 | 0.024 | 0.012 | 0.57 | 2,690 | 1,490 | 19,000 | 26,000 | 0.141 | 15,000 | 21,000 | | |
| | 17 | 40 | 12 | 0.6 | 0.3 | 14.5 | | | | | | | | | |
| 7204 | 0.7874 | 1.8504 | 0.5512 | 0.039 | 0.024 | 0.67 | 3,250 | 1,890 | 17,000 | 23,000 | 0.220 | 14,000 | 18,000 | | |
| | 20 | 47 | 14 | 1 | 0.6 | 17 | | | | | | | | | |
| 7205 | 0.9843 | 2.0472 | 0.5906 | 0.039 | 0.024 | 0.75 | 3,650 | 2,320 | 14,000 | 19,000 | 0.276 | 11,000 | 15,000 | | |
| | 25 | 52 | 15 | 1 | 0.6 | 19 | | | | | | | | | |
| 7206 | 1.1811 | 2.4409 | 0.6299 | 0.039 | 0.024 | 0.85 | 5,050 | 3,350 | 12,000 | 16,000 | 0.425 | 9,800 | 13,000 | | |
| | 30 | 62 | 16 | 1 | 0.6 | 21.5 | | | | | | | | | |
| 7207 | 1.3780 | 2.8346 | 0.6693 | 0.043 | 0.024 | 0.94 | 6,700 | 4,500 | 11,000 | 14,000 | 0.619 | 8,600 | 11,000 | | |
| | 35 | 72 | 17 | 1.1 | 0.6 | 24 | | | | | | | | | |
| 7208 | 1.5748 | 3.1496 | 0.7087 | 0.043 | 0.024 | 1.04 | 7,950 | 5,650 | 9,600 | 13,000 | 0.783 | 7,700 | 10,000 | | |
| | 40 | 80 | 18 | 1.1 | 0.6 | 26.5 | | | | | | | | | |
| 7209 | 1.7717 | 3.3465 | 0.7480 | 0.043 | 0.024 | 1.12 | 8,900 | 6,450 | 8,700 | 12,000 | 0.891 | 6,900 | 9,200 | | |
| | 45 | 85 | 19 | 1.1 | 0.6 | 28.5 | | | | | | | | | |
| 7210 | 1.9685 | 3.5433 | 0.7874 | 0.043 | 0.024 | 1.18 | 9,300 | 7,050 | 7,900 | 10,000 | 1.01 | 6,300 | 8,300 | | |
| | 50 | 90 | 20 | 1.1 | 0.6 | 30 | | | | | | | | | |
| 7211 | 2.1654 | 3.9370 | 0.8268 | 0.059 | 0.039 | 1.30 | 11,500 | 8,900 | 7,100 | 9,500 | 1.32 | 5,700 | 7,600 | | |
| | 55 | 100 | 21 | 1.5 | 1 | 33 | | | | | | | | | |
| 7212 | 2.3622 | 4.3307 | 0.8661 | 0.059 | 0.039 | 1.42 | 13,900 | 11,000 | 6,600 | 8,800 | 1.69 | 5,300 | 7,000 | | |
| | 60 | 110 | 22 | 1.5 | 1 | 36 | | | | | | | | | |
| 7213 | 2.5591 | 4.7244 | 0.9055 | 0.059 | 0.039 | 1.50 | 15,800 | 13,000 | 6,100 | 8,100 | 2.12 | 4,900 | 6,500 | | |
| | 65 | 120 | 23 | 1.5 | 1 | 38 | | | | | | | | | |
| 7214 | 2.7559 | 4.9213 | 0.9449 | 0.059 | 0.039 | 1.57 | 17,200 | 14,300 | 5,700 | 7,600 | 2.40 | 4,500 | 6,000 | | |
| | 70 | 125 | 24 | 1.5 | 1 | 40 | | | | | | | | | |
| 7215 | 2.9528 | 5.1181 | 0.9843 | 0.059 | 0.039 | 1.67 | 17,800 | 15,400 | 5,300 | 7,100 | 2.58 | 4,200 | 5,600 | | |
| | 75 | 130 | 25 | 1.5 | 1 | 42.5 | | | | | | | | | |
| 7216 | 3.1496 | 5.5118 | 1.0236 | 0.079 | 0.039 | 1.77 | 20,000 | 17,100 | 5,000 | 6,600 | 3.06 | 3,900 | 5,300 | | |
| | 80 | 140 | 26 | 2 | 1 | 45 | | | | | | | | | |
| 7217 | 3.3465 | 5.9055 | 1.1024 | 0.079 | 0.039 | 1.89 | 22,400 | 19,900 | 4,700 | 6,200 | 3.92 | 3,700 | 5,000 | | |
| | 85 | 150 | 28 | 2 | 1 | 48 | | | | | | | | | |
| 7218 | 3.5433 | 6.2992 | 1.1811 | 0.079 | 0.039 | 2.01 | 26,500 | 23,200 | 4,400 | 5,900 | 4.81 | 3,500 | 4,700 | | |
| | 90 | 160 | 30 | 2 | 1 | 51 | | | | | | | | | |
| 7219 | 3.7402 | 6.6929 | 1.2598 | 0.083 | 0.043 | 2.15 | 30,000 | 26,500 | 4,100 | 5,500 | 5.89 | 3,300 | 4,400 | | |
| | 95 | 170 | 32 | 2.1 | 1.1 | 54.5 | | | | | | | | | |
| 7220 | 3.9370 | 7.0866 | 1.3386 | 0.083 | 0.043 | 2.26 | 32,500 | 28,200 | 3,900 | 5,200 | 7.05 | 3,100 | 4,200 | | |
| | 100 | 180 | 34 | 2.1 | 1.1 | 57.5 | | | | | | | | | |
| 7221 | 4.1339 | 7.4803 | 1.4173 | 0.083 | 0.043 | 2.38 | 35,000 | 32,000 | 3,700 | 5,000 | 8.36 | 3,000 | 4,000 | | |
| | 105 | 190 | 36 | 2.1 | 1.1 | 60.5 | | | | | | | | | |
| 7222 | 4.3307 | 7.8740 | 1.4961 | 0.083 | 0.043 | 2.52 | 38,000 | 35,500 | 3,500 | 4,700 | 9.81 | 2,800 | 3,800 | | |
| | 110 | 200 | 38 | 2.1 | 1.1 | 64 | | | | | | | | | |
| 7224 | 4.7244 | 8.4646 | 1.5748 | 0.083 | 0.043 | 2.70 | 41,000 | 40,000 | 3,200 | 4,300 | 13.8 | 2,600 | 3,400 | | |
| | 120 | 215 | 40 | 2.1 | 1.1 | 68.5 | | | | | | | | | |

2. Tabel spesifikasi *double row angular contact ball bearing*




Rolling Bearings





Products Industries Services Company Sustainability R & D Investors Career

- Thrust Ball Bearings
- N Series Thin-Section Ball Bearings
Metric and Inch Designs
- ▼ Roller Bearings
- ▼ Bearing Units
- ▼ Super Precision Bearings
- Bearings for Steel Industry
- ▼ Bearings for Mining & Construction
- Bearings for Papermaking Machines
- Bearings for Pumps & Compressors
- ▼ For Special Environments (SPACEA™ Series)
- ▼ Automotive Products
- ▼ Precision Machine Components
- Megatorque Motor™
- Maintenance & Repairs



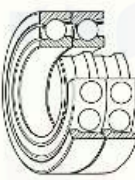
Single-Row Angular Contact Ball Bearings (Pressed Steel Cages & Machined Brass Cages)

Since these bearings have a contact angle, they can sustain significant axial loads in one direction together with radial loads. Because of their design, when a radial load is applied, an axial force component is produced; therefore, two opposed bearings or a combination of more than two must be used.

Since the rigidity of single-row angular contact ball bearings can be increased by preloading, they are often used in the main spindles of machine tools, for which high running accuracy is required.

Usually, the cages for angular contact ball bearings with a contact angle of 30° (Symbol A) or 40° (Symbol B) are in accordance with Table 1, but depending on the application, machined synthetic resin cages or molded polyamide resin cages are also used. The basic load ratings given in the bearing tables are based on the cage classification listed in Table 1.


[Table 1](#)



Matched Angular Contact Ball Bearings

The types and features of matched angular Contact Ball bearings are shown in Table 2.


[Table 2](#)



Double-Row Angular Contact Ball Bearings

This is basically a back-to-back mounting of two single-row angular contact ball bearings, but their inner and outer rings are each integrated into one. Axial loads in both directions can be sustained, and the capacity to sustain moments is good. This type is used as fixed-end bearings.

Their cages are pressed steel.



Four-Point Contact Ball Bearings

The inner ring is split radially into two pieces. Their design allows one bearing to sustain significant axial loads in either direction. The contact angle is 35°, so the axial load capacity is high. This type is suitable for carrying pure axial loads or combined loads where the axial loads are high.

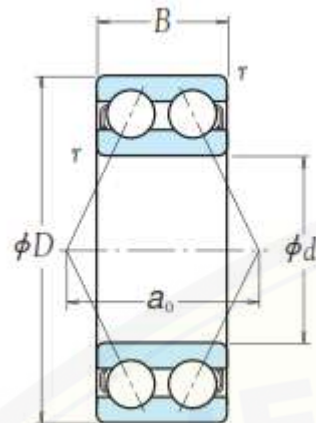
The cages are made of machined brass.



The NSK range of angular contact ball bearings has been designed to meet the increasingly demanding requirements of original equipment manufacturers. These bearings have a contact angle so that they can sustain significant axial loads in one direction together with radial loads. Furthermore, since an axial component is generated when a radial load is applied, these bearings are generally used in pairs, triplex sets, quadruplex sets, or multiplex sets. NSK offers one of the most comprehensive ranges of angular contact ball bearings available.

Features

1. High Quality Steel — Ultra clean steel to extend bearing life by up to 80%.
2. Advanced Grease Technology — NSK lubricants that can extend grease life and performance.
3. High Grade Balls — Quiet and smooth operation even at high speed.
4. Super Finished Raceways — Specially honed to minimise noise and improve lubricant distribution and life.
5. Contact Angle — Offered in 15, 25, 30 and 40 degree angles.
6. Cages — Available in a range of Polyamide, steel and brass cage assemblies.



| Boundary Dimensions (mm) | | | | Basic Load Ratings (N) (kgf) | | | | Limiting Speeds (min ⁻¹) | | Bearing Numbers |
|--------------------------|-----|------|----------|------------------------------|----------|--------|----------|--------------------------------------|--------|-----------------|
| d | D | B | r min. | C_r | C_{0r} | C_r | C_{0r} | Grease | Oil | |
| 10 | 30 | 14.3 | 0.6 | 7 150 | 3 900 | 730 | 400 | 17 000 | 22 000 | 5200 |
| 12 | 32 | 15.9 | 0.6 | 10 500 | 5 800 | 1 070 | 590 | 15 000 | 20 000 | 5201 |
| 15 | 35 | 15.9 | 0.6 | 11 700 | 7 050 | 1 190 | 715 | 13 000 | 17 000 | 5202 |
| | 42 | 19 | 1 | 17 600 | 10 200 | 1 800 | 1 040 | 11 000 | 15 000 | 5302 |
| 17 | 40 | 17.5 | 0.6 | 14 600 | 9 050 | 1 490 | 920 | 11 000 | 15 000 | 5203 |
| | 47 | 22.2 | 1 | 21 000 | 12 600 | 2 140 | 1 280 | 10 000 | 13 000 | 5303 |
| 20 | 47 | 20.6 | 1 | 19 600 | 12 400 | 2 000 | 1 270 | 10 000 | 13 000 | 5204 |
| | 52 | 22.2 | 1.1 | 24 600 | 15 000 | 2 510 | 1 530 | 9 000 | 12 000 | 5304 |
| 25 | 52 | 20.6 | 1 | 21 300 | 14 700 | 2 170 | 1 500 | 8 500 | 11 000 | 5205 |
| | 62 | 25.4 | 1.1 | 32 500 | 20 700 | 3 350 | 2 110 | 7 500 | 10 000 | 5305 |
| 30 | 62 | 23.8 | 1 | 29 600 | 21 100 | 3 000 | 2 150 | 7 100 | 9 500 | 5206 |
| | 72 | 30.2 | 1.1 | 40 500 | 28 100 | 4 150 | 2 870 | 6 300 | 8 500 | 5306 |
| 35 | 72 | 27 | 1.1 | 39 000 | 28 700 | 4 000 | 2 920 | 6 300 | 8 000 | 5207 |
| | 80 | 34.9 | 1.5 | 51 000 | 36 000 | 5 200 | 3 700 | 5 600 | 7 500 | 5307 |
| 45 | 85 | 30.2 | 1.1 | 49 500 | 38 000 | 5 050 | 3 900 | 5 000 | 6 700 | 5209 |
| | 100 | 39.7 | 1.5 | 68 500 | 51 000 | 7 000 | 5 200 | 4 500 | 6 000 | 5309 |
| 50 | 90 | 30.2 | 1.1 | 53 000 | 43 500 | 5 400 | 4 400 | 4 800 | 6 000 | 5210 |
| | 110 | 44.4 | 2 | 81 500 | 61 500 | 8 300 | 6 250 | 4 300 | 5 600 | 5310 |
| 55 | 100 | 33.3 | 1.5 | 56 000 | 49 000 | 5 700 | 5 000 | 4 300 | 5 600 | 5211 |
| | 120 | 49.2 | 2 | 95 000 | 73 000 | 9 700 | 7 450 | 3 800 | 5 000 | 5311 |
| 60 | 110 | 36.5 | 1.5 | 69 000 | 62 000 | 7 050 | 6 300 | 3 800 | 5 000 | 5212 |
| | 130 | 54 | 2.1 | 125 000 | 98 500 | 12 800 | 10 000 | 3 400 | 4 500 | 5312 |
| 65 | 120 | 38.1 | 1.5 | 76 500 | 69 000 | 7 800 | 7 050 | 3 600 | 4 500 | 5213 |
| | 140 | 58.7 | 2.1 | 142 000 | 113 000 | 14 500 | 11 500 | 3 200 | 4 300 | 5313 |
| 70 | 125 | 39.7 | 1.5 | 94 000 | 82 000 | 9 600 | 8 400 | 3 400 | 4 500 | 5214 |
| | 150 | 63.5 | 2.1 | 159 000 | 128 000 | 16 200 | 13 100 | 3 000 | 3 800 | 5314 |
| 75 | 130 | 41.3 | 1.5 | 93 500 | 83 000 | 9 550 | 8 500 | 3 200 | 4 300 | 5215 |
| 80 | 140 | 44.4 | 2 | 99 000 | 93 000 | 10 100 | 9 500 | 3 000 | 3 800 | 5216 |
| 85 | 150 | 49.2 | 2 | 116 000 | 110 000 | 11 800 | 11 200 | 2 800 | 3 600 | 5217 |