



**RANCANG BANGUN ALAT UJI BANTALAN (*OUTTER BEARING*)
UNTUK MENGETAHUI NILAI *ROLLING RESISTANCE*
PADA MOBIL LISTRIK TITEN
(BAGIAN DINAMIS)**

PROYEK AKHIR

Oleh

**Achmad Rizal Fatoni
NIM.141903101028**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**RANCANG BANGUN ALAT UJI BANTALAN (*OUTTER BEARING*)
UNTUK MENGETAHUI NILAI *ROLLING RESISTANCE*
PADA MOBIL LISTRIK TITEN
(BAGIAN DINAMIS)**

PROYEK AKHIR

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

Oleh

**Achmad Rizal Fatoni
NIM. 141903101028**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT, laporan proyek akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Ibuku Muslikah dan Ayahku Alm. Sabrowitercinta, kakakku Muallimin, Mochammad Khoiri, Ainin Ainiyah, Siti Masfufah, Achmad Zaiudin, Achmad Romadhoni 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;
2. Guru-guru sejak TK, SD, SMP, 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;
3. Dulur-dulur Teknik Mesin DIII dan S1 angkatan 2014 yang telah memberikan do'a, dukungan, kontribusi, ide dan kritikan;
4. Almamater Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

MOTTO

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

Atau

Dan janganlah kamu berhenti beribadah (menyembah) kepada-Nya, dikarenakan kamu sudah mendapatkan apa yang kamu inginkan. Karena tujuan dari hidup yang sesungguhnya bukanlah itu, melainkan mencari keridhoan-Nya. Dan istiqomah di jalan yang benar adalah kunci sukses Dunia dan Akhirat.

“Achmad Rizal Fatoni”

“Solidarity Forever”

*) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT KumudasmoroGrafindo.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Achmad Rizal Fatoni

NIM : 141903101028

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa proyek akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Alat Uji Bantalan (*Outter Bearing*) Untuk Mengetahui Nilai *Rolling Resistance* Pada Mobil Listrik Titen (*Bagian Dinamis*)”** 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, 17 Januari 2017

Yang menyatakan,

Achmad Rizal Fatoni

141903101028

PROYEK AKHIR

**RANCANG BANGUN ALAT UJI BANTALAN (*OUTTER BEARING*)
UNTUK MENGETAHUI NILAI *ROLLING RESISTANCE*
PADA MOBIL LISTRIK TITEN
(BAGIAN DINAMIS)**

Oleh
Achmad Rizal Fatoni

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Nasrul Ilminnafik, ST.,MT.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Syuhri, MT.

PENGESAHAN

Proyek akhir berjudul ” Rancang Bangun Alat Uji Bantalan (*Outter Bearing*) Untuk Mengetahui Nilai *Rolling Resistance* Pada Mobil Listrik Titen (Bagian Dinamis)” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Kamis, 17 Januari 2017

tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP 19711114 199903 1 002

Ir. Ahmad Syuhri, M.T.
NIP. 19670123 199702 1 001

Penguji

Penguji I,

Penguji II,

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

Robertus Sidhartawan, S.T.,M.T.
NIP. 19700310 199702 1 001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

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

RINGKASAN

Rancang Bangun Alat Uji Bantalan (*Outter Bearing*) Untuk Mengetahui Nilai *Rolling Resistance* Pada Mobil Listrik Titen (Bagian Dinamis); Achmad Rizal Fatoni, 141903101028; 2017; 93 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Mobil listrik merupakan suatu kendaraan yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik sebagai energi yang disimpan dalam baterai ataupun tempat penyimpanan energi lainnya. Mobil listrik sedikitnya *booming* pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, tapi kemudian popularitasnya meredup karena teknologi mesin pembakaran dalam yang semakin maju dan harga kendaraan berbahan bakar bensin yang semakin murah. Krisisnya bahan bakar minyak pada tahun 1970-an dan 1980-an pernah membangkitkan sedikit minat produsen kendaraan pada mobil-mobil listrik, tapi baru pada tahun 2000-an lah para produsen kendaraan menaruh perhatian yang serius pada kendaraan listrik. Hal ini disebabkan karena harga minyak yang melambung tinggi pada tahun 2000-an serta banyak masyarakat dunia yang sudah sadar akan buruknya dampak emisi gas rumah kaca. (Daniel and Deborah Gordon, 2009).

Pada setiap kendaraan bermotor pasti mengalami gaya *rolling resistance* biasanya di singkat dengan (RR), entah pada ban roda atau bantalan (*bearing*) yang ada didalam tromol (*hub*) roda. *Rolling Resistance* merupakan segala gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerakannya roda atau benda yang menggelinding diatas suatu jalur. *Rolling Resistance* adalah tahanan terhadap roda yang akan dan telah menggelinding akibat dari adanya gaya gesekkan yang terjadi antara roda dengan permukaan jalannya roda (Mar'iy Muslih Muttaqin, 2015). Pada dasarnya, *rolling resistance* adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju (H. Taghavifar, 2013). *Rolling Resistance* terjadi karena proses deformasi yang

terjadi pada struktur ban, luasan kontak dan permukaan jalan. Namun dalam prakteknya, sulit untuk menganalisis parameter yang signifikan secara rinci karena mereka sangat berkorelasi, namun jumlah panas yang dihasilkan merupakan indikasi dari jumlah gaya perlawanan tersebut. (M. Juhala : 2014)

Terdapat dua standar yang telah ditetapkan oleh *Society of Automotive Engineering* (SAE) dan *International Organization for Standardization* (ISO) untuk pengukuran *rolling resistance*, yaitu SAE J1269, SAE J2452 dan ISO 18164 : 2005, ISO 28580 : 2009. Dalam dunia industri otomotif dan ban sering menggunakan standar ini sebagai acuan untuk pengukuran *rolling resistance*.

Selain itu terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya *rolling resistance* antara lain :

- a. Keadaan dari suatu jalur, yaitu kekerasan dan kemulusan dari permukaannya, dimana semakin mulus permukaan jalannya maka semakin kecil pula nilai *rolling resistance* dan berlaku sebaliknya.
- b. Luasan kontak *bearing* atau roda terhadap permukaan jalur yang mengalami gesekan dengan permukaan jalurnya.
- c. Massa atau berat beban dari bearing itu sendiri yang menyebabkan gesekan semakin besar.
- d. Diameter *bearing* juga mempengaruhi besar kecilnya nilai dari *rolling resistance* nya.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir yang berjudul ”Rancang Bangun Alat Uji Bantalan (*Outter Bearing*) Untuk Mengetahui Nilai *Rolling Resistance* Pada Mobil Listrik Titen (Bagian Dinamis) ”.Laporan proyek akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan diploma tiga (DIII) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan proyek akhir 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 proyek akhir;
2. Ketua Jurusan Teknik Mesin Hari Arbiantara B., S.T., M.T. atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan proyek akhir ini;
3. Dr. Nasrul Ilminnafik, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ir. Ahmad Syuhri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang penuh kesabaran memberi bimbingan, dorongan, meluangkan waktu, pikiran, perhatian dan saran kepada penulis selama penyusunan proyek akhir ini sehingga dapat terlaksana dengan baik;
4. Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Robertus Sidhartawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II, terima kasih atas saran dan kritiknya;
5. Ir. Ahmad Syuhri, 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 Muslikah dan Ayahanda Sabrowi yang telah memberikan segalanya kepada penulis;

8. Kakakku Mualimin, Mochammad Khoiri, Ainin Ainiyah, Siti Masfufah, Achmad Zaiudin, Achmad Romadhoni 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;
9. Para sahabat Ahmad Syaihudin H. (Cino), Atlanta Iwandana. (Gendos), M. Ainul Fikri. (Ciwel), Bagus Nugroho. (Gamer Dota), Winagil C.A.B, Agung C.R. (Pak Jagung), Setyo Yufi P., M. Hilmi Azis (Don), M. Ali Maksun, Fajrul Falah (Koran), Nur Azizah (Chece), Shinta A.D, .Jihan Z.R. (Jhe), Zahra H.S. (Sasi), Dyah Rahmah, Irvanta S., Rezka Wahyu S. (Lemot), Fachnur Zainul M. (Wawan), M. Lutfi Nikol. (Kacong), Hendrik S.B. (Kuno), Mahendra Bagaskara, Radinal Raka R.(Borak), Joni A. (Jontel), Dendit Agus D.R., Reza Eka Nurzain, M. Ali Zein (Jen), Gilang Dheo Ardi (Bapak), Dimas Lintang A.(Cakil), Feri yang telah membantu tenaga dan fikiran dalam pembuatan alat uji bantalan ini;
10. Teman-temanku seperjuangan DIII dan S1 Teknik Mesin 2014 yang selalu memberi dukungan dan saran kepada penulis;
11. Kawan-kawan Slamet Rohadi B. P., Muhammad Ainur Ridlo, Achmad Nurwanto, Harun Ismail, Muhammad Syamsuri, Hendra Prasetya, dan Rendi yang memberi dukungan serta do'a kepada penulis;
12. Pihak lain yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

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

Jember, 17 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
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 Rolling Resistance (RR).....	5
2.1.1 Pengertian <i>Rolling Resistance</i> (RR)	5
2.1.2 Faktor yang Mempengaruhi <i>Rolling Resistance</i>	6
2.2 Bantalan (<i>Bearing</i>).....	7
2.2.1 Pengertian Bantalan (<i>Bearing</i>)	7

2.2.2 Klasifikasi Bantalan (<i>Bearing</i>)	9
2.2.3 Sifat <i>Sliding Bearing Material</i>	12
2.3 Jenis - Jenis Bantalan	13
2.3.1 <i>Single Row Deep Groove Ball Bearing</i>	13
2.3.2 <i>Double Row Self Aligning Ball Bearing</i>	14
2.3.3 <i>Single Row Angular Contact Ball Bearing</i>	14
2.3.4 <i>Double Row Angular Contact Ball Bearing</i>	15
2.3.5 <i>Double Row Barrel Roller Bearing</i>	15
2.3.6 <i>Single Row Cylindrical Bearing</i>	15
2.3.7 <i>Tapered Roller Bearing</i>	16
2.3.8 <i>Single Direction Thrust Ball Bearing</i>	17
2.3.9 <i>Double Direction Thrust Bearing</i>	17
2.3.10 <i>Ball And Socket Bearing</i>	17
2.4 Sifat-sifat <i>Bearing</i> (Bantalan)	18
2.5 Cara Membaca Kode <i>Bearing</i> (Bantalan)	21
2.5.1 Kode Angka	21
2.5.2 Kode Jenis Penutup <i>Bearing</i>	22
2.6 Perencanaan <i>Bearing</i>	23
2.7 Poros (<i>Shaft</i>)	25
2.8 Perencanaan Poros	26
2.9 Motor Listrik	28
2.9.1 Bagian-bagian Motor Listrik	29
2.9.2 Macam-Macam Motor Listrik	30
2.9.3 Motor Listrik Arus Bolak-Balik	30
2.9.4 Motor Listrik Arus Searah	31
2.9.5 Jenis-Jenis Motor DC	32
2.10 Perencanaan Daya	32
2.11 Perencanaan Ulir	34

BAB 3. METODOLOGI	36
3.1 Alat dan Bahan	36
3.1.1 Alat	36
3.1.2 Bahan	36
3.2 Waktu dan Tempat	36
3.2.1 Waktu.....	36
3.2.2 Tempat	37
3.3 Metode Pelaksanaan	37
3.3.1 Pencarian Data	37
3.3.2 Studi Pustaka	37
3.3.3 Perancangan dan Perencanaan.....	38
3.3.4 Proses Pembuatan	38
3.3.5 Proses Perakitan.....	38
3.3.6 Pengujian Alat Dan Rangka	39
3.3.7 Penyempurnaan Alat.....	39
3.3.8 Cara Kerja Alat.....	39
3.3.9 Pengujian Alat Dan Rangka	40
3.4 Diagram Alir Perancangan	48
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Hasil Perancangan dan Pembuatan Alat	49
4.1.1 Cara Kerja Alat.....	49
4.2 Analisa Hasil Perancangan dan Perhitungan	52
4.2.1 Perencanaan Daya.....	52
4.2.2 Perencanaan Kapasitas	52
4.2.3 Perencanaan Poros	52
4.2.4 Perencanaan <i>Bearing</i>	52
4.2.5 Perencanaan Ulir.....	53

4.3 Hasil Pengujian Alat Penguji <i>Bearing</i>	53
BAB 5. PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
LAMPIRAN	
A. LAMPIRAN PERHITUNGAN	57
B. LAMPIRAN TABEL	66
C. LAMPIRAN GAMBAR	72
SOP (Standart Operating Procedures) Alat Uji <i>Bearing</i>	73
Teknik Perawatan	74

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sifat <i>Sliding Bearing Material</i>	12
Tabel 2.2 Material Bantalan Luncur	13
Tabel 2.3 Ukuran <i>Bearing</i> Berdasarkan Kode Angka (Matrik).....	21
Tabel 2.4 Faktor– Faktor Koreksi Daya Yang Akan Di Transmisikan , F_c	26
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan	37
Tabel 3.2 Spesifikasi Bantalan.....	44
Tabel 4.1 Data Gaya Parasif Bantalan (Gaya Rugi)	53
Tabel 4.2 Data Hasil Perhitungan Gaya <i>Rolling Resistance</i> (Bantalan 6302)	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema <i>rolling resistance</i>	5
Gambar 2.2 Skema, gaya berat, gaya gesek dan <i>rolling resistance</i>	6
Gambar 2.3 <i>Trust ball bearing</i> , jenis <i>bearing</i> yang digunakan menumpu beban aksial	8
Gambar 2.4 Macam – macam dari <i>bearing</i>	9
Gambar 2.5 <i>Radial Bearing</i>	10
Gambar 2.6 Konstruksi <i>Thrust Bearing</i>	11
Gambar 2.7 <i>Combined Bearing</i>	11
Gambar 2.8 <i>Single Row Groove Ball Bearing</i>	13
Gambar 2.9 <i>Double Row Self Aligning Ball Bearing</i>	14
Gambar 2.10 <i>Single Row Angular Contact Ball Bearing</i>	14
Gambar 2.11 <i>Double Row Angular Contact Ball Bearing</i>	15
Gambar 2.12 <i>Double Row Barrel Roller Bearing</i>	15
Gambar 2.13 <i>Single Row Cylindrical Bearing</i>	16
Gambar 2.14 <i>Tapered Roller Bearing</i>	16
Gambar 2.15 <i>Single Direction Thrust Ball Bearing</i>	17
Gambar 2.16 <i>Double Direction Thrust Bearing</i>	17
Gambar 2.17 <i>Ball And Socket Bearing</i>	18
Gambar 2.18 Sistem kode spesifikasi bantalan.....	20
Gambar 2.19 Seri nomer dimensi	20
Gambar 2.20 Kode diameter bore bantalan.....	21
Gambar 2.21 Motor Listrik	28
Gambar 2.22 Motor listrik AC	30
Gambar 2.23 Motor listrik arus searah DC	31
Gambar 3.1 Alat uji <i>rolling resistance</i> pada bantalan.....	40

Gambar 3.2 Timbangan Emas <i>Load Cell</i> 200 gram.....	41
Gambar 3.3 <i>Load cell</i> 50 kg.....	41
Gambar 3.4 Timbangan gantung <i>load cell</i> 50 kg.....	42
Gambar 3.5 Tachometer.....	42
Gambar 3.6 Multimeter.....	43
Gambar 3.7 Motor listrik BLDC 800 watt.....	43
Gambar 3.8 Bantalan uji (<i>Single Row Deep Groove</i>).....	44
Gambar 3.9 Pengukuran gaya rugi pada setiap level kecepatan bantalan.....	45
Gambar 3.10 Mekanisme pengatur beban radial bantalan.....	46
Gambar 3.11 Mekanisme pengatur beban aksial bantalan.....	46
Gambar 3.6 Diagram Alir Perancangan.....	48
Gambar 4.1 Alat uji <i>Bearing</i>	49
Gambar 4.2 Pengukuran gaya rugi pada setiap level kecepatan bantalan.....	50
Gambar 4.3 Mekanisme pengatur beban radial bantalan.....	51
Gambar 4.4 Mekanisme pengatur beban aksial bantalan.....	51

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil listrik merupakan suatu kendaraan yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik sebagai energi yang disimpan dalam baterai ataupun tempat penyimpanan energi lainnya. Mobil listrik sedikitnya *booming* pada akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, tapi kemudian popularitasnya meredup karena teknologi mesin pembakaran dalam yang semakin maju dan harga kendaraan berbahan bakar bensin yang semakin murah. Krisisnya bahan bakar minyak pada tahun 1970-an dan 1980-an pernah membangkitkan sedikit minat produsen kendaraan pada mobil-mobil listrik, tapi baru pada tahun 2000-an lah para produsen kendaraan menaruh perhatian yang serius pada kendaraan listrik. Hal ini disebabkan karena harga minyak yang melambung tinggi pada tahun 2000-an serta banyak masyarakat dunia yang sudah sadar akan buruknya dampak emisi gas rumah kaca. Berdasarkan wikipedia.org dari penelitian (Daniel and Deborah Gordon, 2009). *Two billion cars: driving toward sustainability*. Oxford University Press, New York. pp. 22–26. ISBN- 978-0-19-537664-7.

Mobil listrik sendiri juga memiliki kelebihan dan kekurangan bila dibandingkan dengan mobil berbahan bakar minyak, yang pertama adalah mobil listrik dipandang sebagai mobil yang ramah lingkungan, yaitu tidak menghasilkan emisi gas kendaraan bermotor. Selain itu mobil jenis ini dapat mengurangi emisi gas rumah kaca karena tidak membutuhkan bahan bakar fosil sebagai energi utamanya. Meskipun mobil listrik mempunyai kelebihan seperti yang telah disebutkan diatas, tidak menutup kemungkinan bila mobil listrik juga mempunyai kekurangan diantara lain, harga mobil yang lebih mahal dibanding dengan mobil yang menggunakan bahan bakar minyak karena harga baterai ion litium yang mahal.

Pada setiap kendaraan bermotor pasti mengalami gaya *rolling resistance* biasanya di singkat dengan (RR), entah pada ban roda atau bantalan (*bearing*) yang ada didalam tromol (*hub*) roda. *Rolling Resistance* merupakan segala gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerakannya roda atau benda yang menggelinding diatas suatu jalur. *Rolling Resistance* adalah tahanan terhadap roda yang akan dan telah menggelinding akibat dari adanya gaya gesekkan yang terjadi antara roda dengan permukaan jalannya roda (Mar'iy Muslih Muttaqin, 2015). Pada dasarnya, *rolling resistance* adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju (H. Taghavifar, 2013). *Rolling Resistance* terjadi karena proses deformasi yang terjadi pada struktur ban, luasan kontak dan permukaan jalan. Namun dalam prakteknya, sulit untuk menganalisis parameter yang signifikan secara rinci karena mereka sangat berkorelasi, namun jumlah panas yang dihasilkan merupakan indikasi dari jumlah gaya perlawanan tersebut. (M. Juhala : 2014)

Terdapat dua standar yang telah ditetapkan oleh *Society of Automotive Engineering* (SAE) dan *International Organization for Standardization* (ISO) untuk pengukuran *rolling resistance*, yaitu SAE J1269, SAE J2452 dan ISO 18164 : 2005, ISO 28580 : 2009. Dalam dunia industri otomotif dan ban sering menggunakan standar ini sebagai acuan untuk pengukuran *rolling resistance*.

Selain itu terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya *rolling resistance* antara lain :

- a. Keadaan dari suatu jalur, yaitu kekerasan dan kemulusan dari permukaannya, dimana semakin mulus permukaan jalanya maka semakin kecil pula nilai *rolling resistance* dan berlaku sebaliknya.
- b. Luasan kontak *bearing* atau roda terhadap permukaan jalur yang mengalami gesekan dengan permukaan jalurnya.
- c. Massa atau berat beban dari bearing itu sendiri yang menyebabkan gesekan semakin besar.

- d. Diameter *bearing* juga mempengaruhi besar kecilnya nilai dari *rolling resistance* nya.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam proyek akhir ini masalah yang akan dibahas tentang perancangan alat uji bantalan (*bearing*) pada bagian dinamis yang meliputi :

- a. Bagaimana merancang alat uji *bearing* untuk mengetahui nilai *rolling resistance* pada *bearing* sesuai yang dibutuhkan oleh mobil listrik Universitas Jember ?
- b. Bagaimana cara merencanakan dan membuat poros yang sesuai untuk alat uji *bearing* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang perlu dilakukan agar dalam pembuatan alat dapat berjalan dengan lancar dan dicapainya tujuan yang diinginkan dalam proyek akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Tipe bantalan yang digunakan adalah *single row deep groove ball bearing*.
- b. Sistem pemindahan daya dari motor ke alat uji adalah *in runner*
- c. Tipe bantalan yang diuji yaitu : 6002, 6202, 6302 dengan suaian C3
- d. Kecepatan putar bantalan yang digunakan pada pengujian yaitu 295 rpm, 310 rpm, 325 rpm
- e. Suhu yang digunakan dalam pengujian ini adalah suhu ruangan.
- f. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik BLDC dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - a. V suplai DC 48 volt
 - b. Daya maksimum yang digunakan 800 watt
 - c. Torsi maksimum sampai dengan 30 - 50 Nm

- d. Rpm maksimum motor adalah 512 rpm.
- e. Speed maksimum 50 km / jam.
- f. Ampere ideal 30 – 35 A
- g. Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban radial dan beban axial dengan beban yaitu : 150N, 200N, 250N.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

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

- a. Dapat mengetahui nilai *rolling resistance* pada *bearing* sesuai dengan yang dibutuhkan oleh mobil listrik Universitas Jember.
- b. Dapat mengetahui bagaimana cara merencanakan dan membuat poros sesuai yang dibutuhkan pada alat uji tersebut.

1.4.2 Manfaat

Adapun manfaat yang didapatkan dalam pembuatan alat uji ini yaitu :

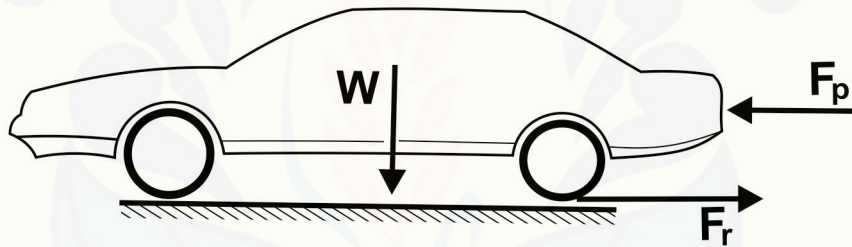
- a. Mengetahui performa dan kualitas karakteristik dari bantalan yang digunakan untuk kebutuhan mobil listrik Universitas Jember.
- b. Mengetahui parameter utama dalam perencanaan dan pemilihan bantalan, poros, daya, dan beban yang diperlukan oleh mobil listrik Universitas Jember.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rolling Resistance (RR)

2.1.1 Pengertian *Rolling Resistance* (RR)

Rolling Resistance merupakan seluruh gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerakannya roda atau benda yang menggelinding diatas suatu jalur. Pada dasarnya, *rolling resistance* adalah momen yang digunakan roda untuk melawan arah gerakan, setara dengan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda bergerak maju (H. Taghavifar, 2013). Skema gaya *rolling resistance* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



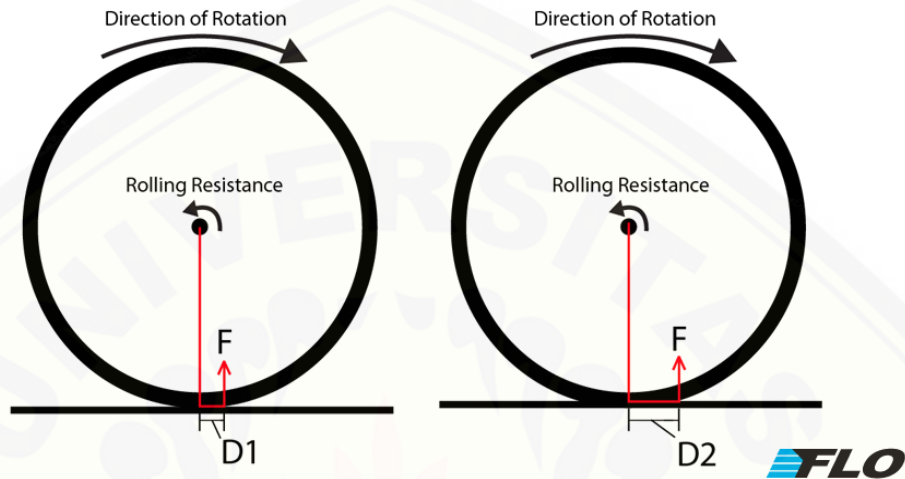
Gambar 2.1 Skema *rolling resistance* (Hakim, 2016)

Keterangan :

- W = Beban kendaraan
- F_p = Gaya dorong kendaraan
- F_r = Gaya *rolling resistance*

Rolling resistance merupakan gaya yang terjadi akibat gesekan roda alat yang sedang bergerak dengan permukaan tanah. Besarnya tahanan akan berbeda pada setiap jenis dan kondisi permukaan tanah atau jalan, juga sangat tergantung pada tipe roda dari kendaraan (Widyaningsih, 2008). Bagian yang mengalami *rolling resistance* secara langsung, terdapat pada bagian luar *bearing* ataupun komponen

yang terjadi kontak langsung dengan permukaan suatu jalur. Skema gaya yang terjadi pada ban dapat dilihat Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skema, gaya berat, gaya gesek dan *rolling resistance*.

Rolling Resistance bisa juga disebut Tahanan gelinding / tahanan guling yaitu besarnya tenaga tarik yang dibutuhkan untuk menggerakkan tiap ton berat kendaraan. Menurut Hunt (1997), tahanan gelinding merupakan gaya tarik karena berat alat yang diperlukan agar bergerak diatas permukaan dengan kecepatan konstan dan merupakan gaya yang digunakan untuk melawan gerak roda akibat reaksi permukaan alas pada roda, dimana semakin besar tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan roda akan mengurangi tenaga tarik. (Alcock,1976)

2.1.2 Faktor yang Mempengaruhi *Rolling Resistance*

Nilai *rolling resistance* tidak hanya dipengaruhi oleh ban. Beberapa rugi-rugi energi bisa menjadi salah satu faktor yang berpengaruh, antara lain sebagai berikut.

- Ban, disebabkan karena interaksi ban terhadap jalan
- Keadaan jalan
- Gesekan yang terjadi pada bantalan (*bearing*)
- Tahanan aerodinamis selama ban berputar

- e. Hambatan ban yang disebabkan oleh pergerakan ban sepanjang udara
- f. Kerugian suspensi

Seperti yang disebutkan di atas, *rolling resistance* didefinisikan oleh ISO (International Standard Organization) sebagai “Kerugian energi (konsumsi energi) tiap satuan jarak yang ditempuh” (ISO 28580, 2009). Standar ini menyebut sekumpulan rugi-rugi tersebut dengan “Kerugian Parasitis” yaitu “*Hilangnya energi (energi yang dikonsumsi) tiap satuan jarak tidak termasuk dalam kerugian akibat sifat internal ban, dan disebabkan pada kerugian aerodinamis dari berbagai elemen yang berputar dari alat uji, gesekan bantalan, dan sumber lain dari kerugian sistem yang mungkin melekat pada pengukuran rolling resistance*”.

Hal lain yang dapat menyebabkan terjadinya tahanan gelinding adalah adanya geseran antara ban dan jalan karena ban berdefleksi dan terbentuk tapak ban. Disamping itu adanya tahanan akibat sirkulasi udara di dalam ban serta hambatan udara di luar ban akibat berputarnya ban juga mengakibatkan terjadinya tahanan gelinding ban. Hasil eksperimen yang menunjukkan bahwa kerugian yang terjadi akibat ban berputar pada kecepatan kendaraan 128 – 152 km/jam dapat dibedakan sebagai berikut : 90 – 95% kerugian akibat sifat histerisis dari ban, 2 – 10 % akibat geseran ban dan jalan, dan hanya 1,5 – 3,5% akibat tahanan angin.

Secara keseluruhan koefisien dari hambatan rolling dipengaruhi oleh banyak faktor dengan hubungan yang kompleks sehingga sangat sulit dicari perumusan matematis dari hubungan tersebut. Karena rumitnya fenomena interaksi faktor-faktor pengaruh dari hambatan rolling, maka besarnya *rolling resistance* masih bergantung pada hasil eksperimen.

2.2 Bantalan (*Bearing*)

2.2.1 Pengertian Bantalan (*Bearing*)

Bantalan adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros berbeban, sehingga gesekan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang

usia pemakaiannya. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros suatu mesin bekerja dengan baik. (Sularso, 2002)

Dapat dipastikan, bahwa pada setiap mesin terdapat suatu komponen yang bergerak maupun diam, gerakan komponen tersebut dapat berupa gerak angular dan gerak linier. Gerakan yang relatif antar komponen mesin akan menimbulkan suatu gesekan, dimana gesekan yang terjadi dapat menurunkan efisiensi dari kerja mesin, meningkatnya suhu, terjadinya suatu keausan pada komponen-komponen, dan berbagai efek negatif lainnya. Gesekan yang terjadi antara komponen mesin satu dengan yang lainnya dapat diminimalisir dengan menggunakan bantalan (*bearing*). Bantalan (*bearing*) adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros, as, roda gigi yang berputar dan memiliki beban agar putaran dari poros, as dan roda gigi dapat bergerak/berputar secara halus untuk mereduksi gesekan yang terjadi agar tidak terlalu besar.



Gambar 2.3 *Trust ball bearing*, jenis *bearing* yang digunakan menumpu beban aksial. (sumber : kginternational.com/bearings/17/4/2017)

Hampir dari seluruh mesin dan kendaraan menggunakan *bearing* sebagai tumpuan poros yang berputar. Logikanya jika bearing terjadi suatu kerusakan atau *breakdown*, maka prestasi dan kinerja dari keseluruhan mesin akan mengalami penurunan atau tidak dapat bekerja secara semestinya.

2.2.2 Klasifikasi Bantalan (*Bearing*)

Secara umum *bearing* dapat diklasifikasikan berdasarkan arah beban dan konstruksi atau mekanismenya mengatasi gesekan. Berdasarkan arah beban yang bekerja pada bantalan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, bearing dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian berdasarkan arah beban yaitu :

a. Bantalan Radial (*Radial Bearing*)

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

b. Bantalan Aksial (*Axial Bearing*)

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

c. Bantalan Khusus

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

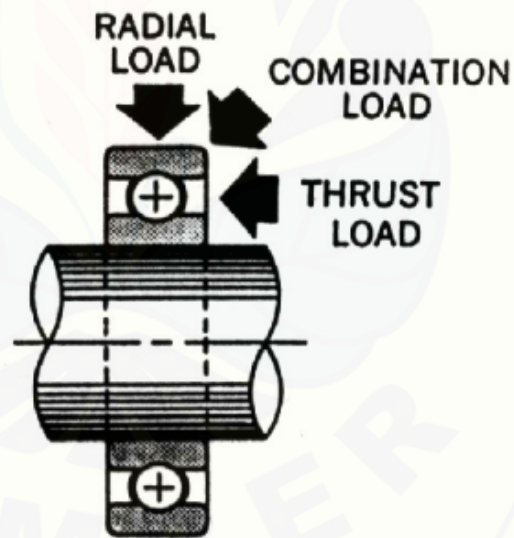
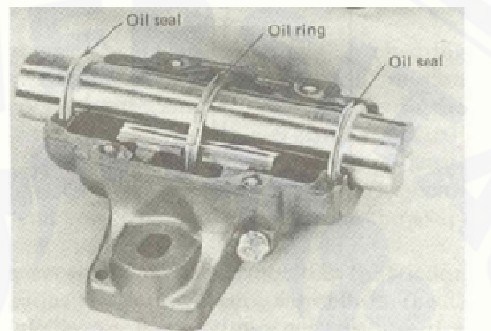


Gambar 2.4 Macam – macam dari *bearing* (sumber : skf.com)

Yang termasuk bantalan radial / *radial bearing* dan bantalan aksial / *thrust bearing* yaitu :

a. *Sleeve bearing*

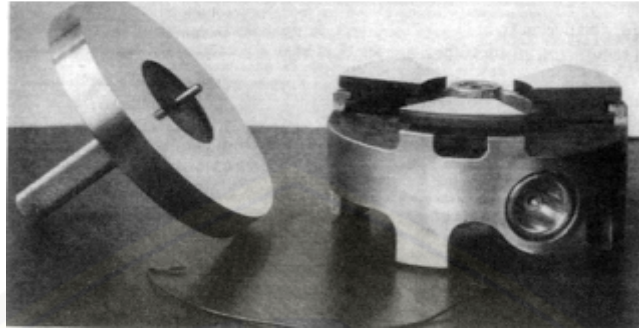
Sleeve bearing yaitu bentuk yang sederhana dari *solid bearing*, *sleeve bearing* umumnya digunakan pada poros roda yang bergerak. *Sleeve bearing* bentuknya silinderis dan dapat menahan beban radial (yang tegak lurus terhadap sumbu poros).



Gambar. 2.5 *Radial Bearing* (Nice, 2014)

b. *Thrust bearing*

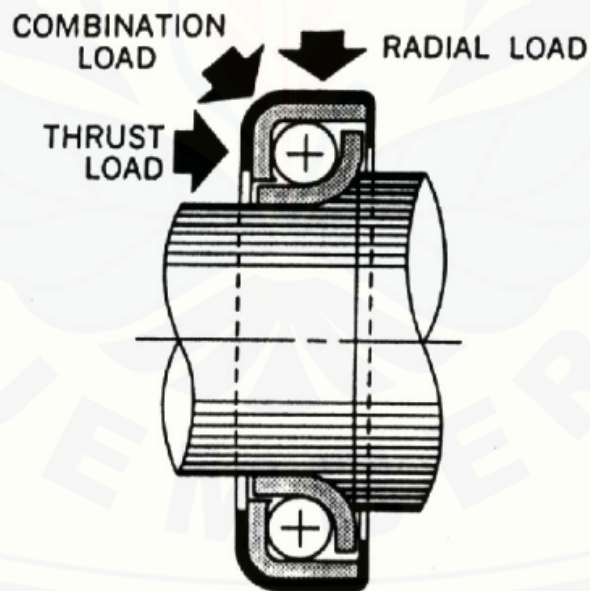
Thrust bearing bentuknya biasanya datar, dimana pada kasus poros yang berputar, dapat menahan beban yang searah dengan sumbu poros.



Gambar 2.6 Konstruksi *Thrust Bearing* (Nice, 2014)

c. *Bearing Combination*

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



Gambar 2.7 *Combined Bearings* (Nice, 2014)

2.2.3. Sifat *Sliding Bearing Material*

Ketika *journal* dan *bearing* memiliki pelumas yang sesuai, dimana lapisannya bersih, pelumas non korosi, memisahkan kontak antara dua permukaan. Terdapat 2 macam bantalan luncur, yaitu bantalan luncur radial dan bantalan luncur aksial. Bantalan ini mempunyai konstruksi yang sama hanya penemanya yang berbeda.

Tabel 2.1 Sifat *Sliding Bearing Material*

<i>Bearing material</i>	<i>Fatigue strength</i>	<i>Conformability</i>	<i>Embeddability</i>	<i>Antiscoring</i>	<i>Corrosion resistance</i>	<i>Thermal conductivity</i>
Tin base babbit	Poor	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Poor
Lead base babbit	Poor to fair	Good	Good	Good to Excellent	Fair to good	Poor
Lead bronze	Fair	Poor	Poor	Poor	Good	Fair
Copper lead	Fair	Poor	Poor to fair	Poor to fair	Poor to fair	Fair to good
Aluminium	Good	Poor to fair	Poor	Good	Excellent	Fair
Silver	Excellent	Almost none	Poor	Poor	Excellent	Excellent
Silver lead deposited	Excellent	Excellent	Poor	Fair to good	Excellent	Excellent

Beberapa sifat yang dicari pada material bantalan adalah relative softness (untuk menyerap partikel asing), kekuatan yang cukup, *machinability* (untuk mempertahankan toleransi), *lubricity*, ketahanan temperatur dan korosi, dan pada beberapa kasus, porositas (untuk menyerap pelumas). Kekerasan material bantalan tidak boleh melebihi sepertiga kekerasan material yang bergesekan dengannya untuk mempertahankan embedability dari partikel abrasiv. Beberapa kelas material yang berbeda dapat digunakan sebagai bantalan, biasanya yang berbasis timbal, timah, dan tembaga. Aluminium sendiri bukan merupakan material yang baik untuk bantalan walaupun banyak digunakan sebagai bahan paduan untuk beberapa material bantalan.

Tabel 2.2 Material Bantalan Luncur

Bearing Material	Hardness kg/mm ²	Minimum Shaft Hardness kg/mm ²	Hardness Ratio
Lead-base babbitt	15-20	150	8
Tin-base babbitt	20-30	150	6
Alkali-hardened lead	22-26	200-250	9
Copper-lead	20-23	300	14
Silver (overplated)	25-50	300	8
Cadmium base	30-40	200-250	6
Aluminum alloy	45-50	300	6
Lead bronze	40-80	300	5
Tin bronze	60-80	300-400	5

2.3 Jenis - Jenis Bantalan

Secara umum *bearing* memiliki berbagai macam jenis tergantung fungsi dan kegunaannya. Terdapat beberapa macam atau jenis *bearing* yang sering kita gunakan, diantaranya :

2.3.1 Single Row Deep Groove Ball Bearing

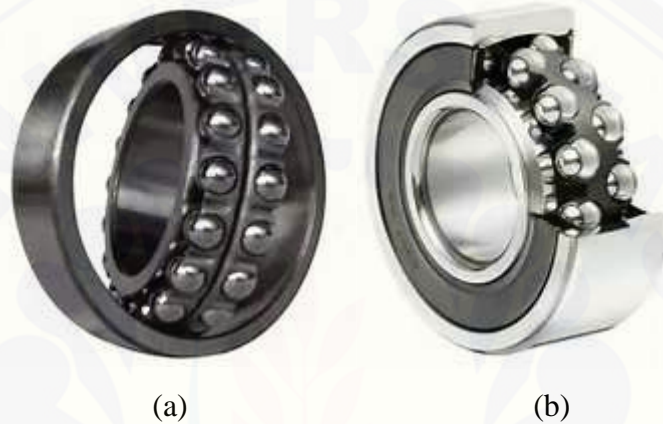
Bearing ini mempunyai alur dalam pada kedua cincinnya. Karena memiliki alur, maka *bearing* jenis ini memiliki kapasitas mampu menahan beban secara ideal pada arah radial dan aksial. Yang dimaksud beban radial adalah beban yang tegak lurus terhadap sumbu poros, sedangkan gaya aksial adalah beban yang searah dengan sumbu poros.



Gambar 2.8 Single Row Groove Ball Bearing

2.3.2 Double Row Self Aligning Ball Bearing

Jenis ini mempunyai dua baris bola yang masing-masing baris memiliki alur sendiri-sendiri pada cincin bagian dalamnya. Pada umumnya terdapat alur bola pada cincin luarnya. Cincin bagian dalam mampu bergerak sendiri untuk menyesuaikan posisinya. *Bearing* jenis ini dapat mengatasi asalah poros yang tidak sebaris.



Gambar 2.9 *Double Row Self Aligning Ball Bearing*

2.3.3 Single Row Angular Contact Ball Bearing

Berdasarkan konstruksinya, jenis ini ideal untuk beban radial. *Bearing* jenis ini biasanya dipasangkan *bearing* jenis lain, baik dipasang secara paralel maupun bertolak belakang, sehingga mampu juga untuk menahan beban aksial.



Gambar 2.10 *Single Row Angular Contact Ball Bearing*

2.3.4 *Double Row Angular Contact Ball Bearing*

Disamping dapat menahan beban radial, *bearing* jenis ini juga mampu menahan beban aksial dalam dua arah. Karena konstruksinya juga, *bearing* jenis ini dapat menahan beban torsi. *Bearing* jenis juga digunakan untuk mengganti dua buah *bearing* jika ruangan yang tersedia mencukupi.



Gambar 2.11 *Double Row Angular Contact Ball Bearing*

2.3.5 *Double Row Barrel Roller Bearing*

Bearing jenis ini memiliki dua baris elemen roller yang pada umumnya memiliki alur berbentuk bola cincin luarnya. *Bearing* jenis ini memiliki kapasitas beban radial yang besar sehingga *bearing* jenis ini ideal untuk menahan beban kejut.



Gambar 2.12 *Double Row Barrel Roller Bearing*

2.3.6 *Single Row Cylindrical Bearing*

Bearing jenis ini memiliki dua alur pada satu cincin yang biasanya terpisah. Efek dari pemisahan ini adalah cincin dapat bergerak secara aksial dengan mengikuti

cincin yang lain. Hal ini merupakan suatu keuntungan, karena apabila *bearing* harus mengalami perubahan bentuk yang diakibatkan oleh temperatur maka cincin pada *bearing* tersebut akan mudah menyesuaikan posisinya. *Bearing* jenis ini memiliki kapasitas beban radial yang besar pula sehingga cocok untuk kecepatan tinggi.



Gambar 2.13 *Single Row Cylindrical Bearing*

2.3.7 *Tapered Roller Bearing*

Ditinjau dari konstruksinya, *bearing* jenis ini ideal untuk beban aksial maupun radial. *Bearing* jenis ini dapat dipisah, dimana cincin dalamnya dipasang bersama dengan rollernya dan cincin luarnya yang dapat dipisah.



Gambar 2.14 *Tapered Roller Bearing*

2.3.8 *Single Direction Thrust Ball Bearing*

Bearing jenis ini hanya cocok untuk menahan beban aksial dalam satu arah saja. Elemennya dapat dipisahkan sehingga mudah melakukan pemasangan. Beban aksial minimum yang dapat ditahan tergantung dari kecepatan yang diberikan terhadap *bearing*. *Bearing* jenis ini sangat sensitif terhadap ketidak stabilan (*misalignment*) poros terhadap rumahnya.



Gambar 2.15 *Single Direction Thrust Ball Bearing*

2.3.9 *Double Direction Thrust Bearing*

Bearing jenis ini hampir sama dengan *bearing* jenis *Single Direction Thrust Ball Bearing*, hanya saja *bearing* jenis ini sangat sensitif terhadap ketidak sebarisan (*misalignment*) poros terhadap rumahnya.



Gambar 2.16 *Double Direction Thrust Bearing*

2.3.10 *Ball And Socket Bearing*

Bearing jenis ini memiliki alur dalam berbentuk bola, yang dapat membuat elemennya berdiri sendiri. Kapasitas dari *bearing* jenis ini sangat besar terhadap

beban aksial. Selain itu juga dapat menahan beban radial secara simultan dan cocok untuk kecepatan tinggi.



Gambar 2.17 *Ball And Socket Bearing*

2.4 Sifat-sifat *Bearing* (Bantalan)

Dalam pemilihan bantalan perlu diketahui sifat-sifat yang harus dipertimbangkan agar diperoleh bahan yang terbaik, sifat bantalan yang baik diantaranya:

1. Tahan Tekanan

Bahan bantalan harus memiliki kekuatan yang tinggi untuk meningkatkan tekanan maksimum sehingga mencegah ekstruksi atau deformasi permanen pada bantalan.

2. Kekuatan *Fatigue*

Bahan bantalan harus memiliki kekuatan *fatigue* yang tinggi sehingga ketika terjadi beban berulang tidak menghasilkan retak pada material.

3. *Comform Ability*

Adalah kemampuan bahan bantalan untuk mengakomodasi lendutan poros atau ketidak akuratan bantalan oleh deformasi plastik (*creep*).

4. *Embedd Ability*

Adalah kemampuan bahan bantalan untuk mengakomodasi partikel kecil dari debu, pasir dll.

5. Tahan Korosi

Bahan bantalan tidak boleh menimbulkan korosi yang dihasilkan akibat pelumasan. Hal ini sangat penting didalam mesin pembakaran dimana pelumas yang sama digunakan untuk melumasi dinding silinder dan bantalan.

6. Ekspansi Thermal

Bahan harus memiliki nilai koefisien ekspansi thermal rendah, sehingga ketika bekerja dengan suhu yang berbeda-beda, tidak ada perubahan bahan yang diakibatkan perubahan suhu.

7. Konduktivitas Thermal

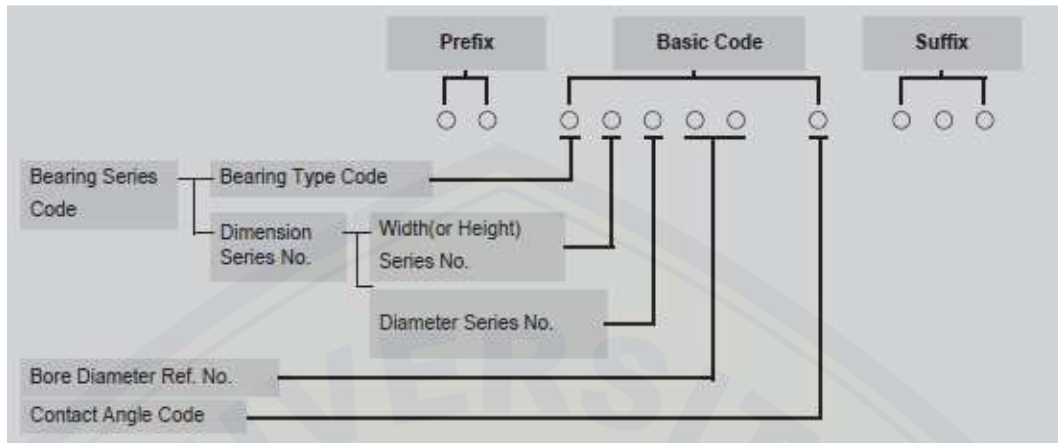
Bahan bantalan harus memiliki konduktivitas yang tinggi sehingga memungkinkan perpindahan panas yang cepat yang dihasilkan pada saat gesekan.

2.5 Cara Membaca Kode *Bearing* (Bantalan)

Dalam menentukan *bearing* yang akan dipilih, seringkali kita mengalami kesulitan untuk menentukan jenis *bearing* apa yang akan digunakan. Untuk memudahkan pemilihan jenis *bearing* yang akan digunakan, maka produsen membuat standar ukuran *bearing* melalui kode tertentu yang telah memenuhi standar *ISO*.

2.5.1 Kode Angka

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



Gambar 2.18 Sistem kode spesifikasi bantalan(Hanwha, 2001)

- a. Kode Awalan (*prefix*) adalah awalan yang digunakan untuk mengidentifikasi komponen bantalan. Kode ini juga dapat mengidentifikasi varian bantalan.
- b. Kode Dasar (*basic code*) terdiri dari kode yang menunjukkan jenis bantalan dan dimensi bantalan. Pada kode dasar tersusun menjadi beberapa kode lagi, diantaranya sebagai berikut :
 - Angka Pertama adalah kode untuk jenis *bearing*. Bila kode pertama adalah angka, maka satuan yang digunakan merupakan satuan metrik (mm), sedangkan jika menggunakan non metrik maka satuan yang digunakan adalah *inch*.
 - Angka Kedua merupakan kode yang menunjukkan jenis dimensi (diameter, tebal, tinggi) *bearing*. Kedua kode tersebut biasanya diwakili oleh satu digit kode. Masing-masing arti kode ditampilkan pada gambar dibawah ini.

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

Gambar 2.19 Seri nomer dimensi(Hanwha, 2001)

- Angka Ketiga dan Ke-empat merupakan kode untuk ukuran diameter dalam (*inner bearing*), jika kodenya 00 maka diameternya 10 mm, 01 maka diameternya 12 mm, 02 = 14 mm, 03 = 17 mm. Kode 04 sampai dengan seterusnya dikalikan 5 mm, misal 04 = 20 mm, 05 = 25 mm dan seterusnya.

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

Gambar 2.20 Kode diameter bore bantalan(Hanwha, 2001)

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

Tabel 2.3 Ukuran *bearing* berdasarkan kode angka (matrik)

Kode Bearing	D	D	l
605	5	14	5
606	6	17	6
607	7	19	6
608	8	22	7
609	9	24	7
623	3	10	4
624	4	13	5

Kode Bearing	D	D	L
625	5	16	5
626	6	19	6
627	7	22	7
628	8	24	8
629	9	26	8
634	4	16	5
635	5	19	6

Kode Bearing	D	D	L
6000	10	26	8
6001	12	28	8
6002	15	32	9

Kode Bearing	D	D	L
6200	10	30	9
6201	12	32	10
6202	15	35	11

6003	17	35	10
6004	20	42	12
6005	25	47	12
6006	30	55	13
6007	35	62	14
6008	40	68	15
6009	45	75	16
6010	50	80	16

6203	17	40	12
6204	20	47	14
6205	25	52	15
6206	30	62	16
6207	35	72	17
6208	40	80	18
6209	45	85	19
6210	50	90	20

D = diameter luar

d=diameterDalam

l = lebar

2.5.2 Kode Jenis Penutup *Bearing*

Kode yang digunakan untuk penutup *bearing* biasanya menggunakan kode huruf, contohnya seperti RS yang merupakan kepanjangan dari *Rubber Seal* atau *seal* karet yang itu berarti *bearing* tersebut menggunakan penutup jenis karet. Adapun beberapa daftar arti kode yang digunakan sebagai penutup pada *bearing* adalah sebagai berikut:

- Z = *zinc (single seal)*
- 2Z = *zinc (double seal)*
- RS = *rubber (single seal)*
- 2RS = *rubber (double seal)*
- V = *single non-contact seal*
- VV = *double non-contact seal*
- DDU = *double contact seal*
- NR = *snap ring and groove*
- M = *brass cage*

Misalnya terdapat kode 6301-RS C3 tertera pada sisi samping *bearing*, dapat dibaca seperti dibawah ini:

1. Angka 6 adalah jenis *bearing* dengan bantalan berbentuk *ball bearing*.
2. Angka 3 menunjukkan dimensi *bearing* (dimensi dalam dan luar) pada contoh diatas berarti diameter luar = 37 mm dan tebal = 12 mm.
3. 01 adalah lingkaran dalam *bearing* adalah = 12mm.
4. Huruf RS menunjukkan jenis penutup / pelindung bola *bearing* menggunakan penutup jenis rubber seal atau seal karet untuk melindungi / menutup *bearing*.
5. Huruf C3 menunjukkan *clearance* (kerenggangan) dalam satuan mikron (1/1000).

2.6 Perencanaan *Bearing*

Bearing digunakan untuk menumpu poros berbeban. Penggunaan *bearing* disesuaikan dengan beban yang bekerja pada poros yang bekerja pada poros tersebut, sehingga poros dapat bekerja dengan baik dan pemakaian bantalan tahan lama, *bearing* dapat diklasifikasikan :

- a) Berdasarkan gerak *Bearing* terhadap poros.
 - a. *Bearing* gelinding.
 - b. *Bearing* luncur.
- b) Berdasarkan arah beban terhadap poros.
 - a. *Bearing* radial.
 - b. *Bearing* aksial.
 - c. *Bearing* gelinding khusus.

Jenis *bearing* dan ukuran *bearing* dapat diketahui dengan persamaan berikut :

1. Beban ekivalen dinamis

Beban ekivalen dinamis adalah suatu beban yang besarnya sedemikian rupa hingga memberikan umur yang sama dengan umur yang diberikan oleh beban dan kondisi putaran sebenarnya (Nieman, 1992) :

$$P_r = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

P_r : Beban ekivalen dinamis (kg)

X : Faktor beban radial

V : Faktor putaran

F_r : Beban Radial (kg)

Y : Faktor beban radial

F_a : Beban aksial (kg)

2. Faktor Kecepatan putaran *bearing* (Sularso, 2002) :

$$f_n = \left[\frac{33,3}{n} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.2)$$

3. Faktor umur bantalan (Sularso, 2002) :

$$f_h = f_n \frac{C}{P} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

f_h = Faktor umur

f_n = Faktor kecepatan putaran bantalan

C = Beban normal spesifik (kg)

P = Beban ekivalen (kg)

4. Umur nominal (Sularso, 2002) :

$$L_h = 500 f_h^{1/3} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

L_h = Faktor nominal (jam)

f_h = Faktor umur

5. Faktor keandalan umur *Bearing* (Sularso, 2002) :

$$L_n : \square_1 \cdot \square_2 \cdot \square_3 \cdot L_h \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

L_n = Faktor keandalan umur *bearing*

\square_1 = Faktor keandalan

\square_2 = Faktor bahan

\square_3 = Faktor kerja

2.7 Poros (*Shaft*)

Poros (*Shaft*) adalah elemen mesin yang digunakan untuk mentransmisikan daya dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Daya tersebut dihasilkan oleh gaya tangensial dan momen torsi yang hasil akhirnya adalah daya tersebut akan ditransmisikan kepada elemen lain yang berhubungan dengan poros tersebut. Poros juga merupakan suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (*gear*), *pulley*, *flywheel*, *sprocket*, dan elemen pemindah lainnya. Poros dapat menerima beban lentur, tarik, tekan atau puntiran yang bekerja sendiri-sendiri atau berupa gabungan satu dengan yang lainnya. Berdasarkan pembebanannya, poros dibagi menjadi:

a. Poros Transmisi (*transmission shafts*)

Poros transmisi lebih dikenal dengan *shaft*. *Shaft* akan mengalami beban puntir berulang, beban lentur secara bergantian ataupun keduanya. Pada *shaft*, daya dapat ditransmisikan melalui *gear*, *belt pulley*, *sprocket* rantai, dll.

b. Poros Gandar

Poros gandar merupakan poros yang dipasang biasanya dipasang diantara roda-roda kereta barang. Poros gandar tidak menerima beban puntir dan hanya mendapat beban lentur.

c. Poros *Spindle*

Poros ini merupakan poros transmisi yang relatif pendek, misalnya pada poros utama mesin perkakas dimana beban utamanya berupa beban puntir. Selain beban puntir, poros *spindle* juga menerima beban lentur (*axial load*). Poros *spindle* dapat digunakan secara efektif apabila deformasi yang terjadi pada poros tersebut kecil.

2.8 Perencanaan Poros

Poros merupakan salah satu elemen yang berfungsi sebagai penerus putaran dari motor penggerak menuju ke elemen yang di gerakkan , Pada umumnya, poros berbentuk silinder. Penerus putaran tersebut dapat menggunakan kopling, pulley, sprocket atau roda gigi.(Sularso, 2002).

Jika P adalah daya nominal output dari motor penggerak, maka berbagai macam keamanan biasanya dapat diambil dari perencanaan, sehingga koreksi pertama dapat diambil kecil.

a. Jika faktor koreksi adalah f_c maka daya rencana P_d (kW)(Sularso, 2002) :

$$P_d = f_c \cdot P \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

P_d = Daya Rencana (kW)

P = Daya (kW)

f_c = Faktor koreksi daya yang ditransmisikan

Tabel 2.4 Faktor– faktor koreksi daya yang akan di transmisikan , f_c

Daya Yang Akan di Transmisikan	F_c
Untuk daya rata – rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

(Sumber : Sularso,2002)

b. Jika momen puntir (momen rencana) adalah T (Kg.mm) maka : (Sularso,2002)

$$P_d = \frac{T}{1000} \left(\frac{2\pi n}{60} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

c. Sehingga momen puntir / torsi (T) (Sularso,2002) :

$$T = 9,74 \times 10^5 \times P_d/n_1 \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan

T = Momen puntir (kg.mm)

n₁ = Putaran poros (rpm)

P_d = Daya rencana (kW)

d. Tegangan Geser yang diijinkan (Sularso, 2002) :

$$\tau_a = \frac{\sigma_b}{sf_1sf_2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

τ_a = Tegangan yang diizinkan (Kg/mm²)

σ_b = Kekuatan tarik bahan (Kg/mm²)

sf₁, sf₂ = Faktor Keamanan

e. Sedangkan untuk mengetahui diameter poros yang dibutuhkan adalah (Sularso, 2002) :

$$d_s \geq \left[\left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) \sqrt{(K_m \times M)^2 + (K_t \times T)^2} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

d_s = Diameter poros (mm)

τ_a = Tengahan geser yang diijinkan (Kg/mm²)

K_m = Faktor koreksi beban lentur

1,5 – 2,0 untuk beban tumbukan ringan

2,0 – 3,0 untuk beban tumbukan berat

M = Momen lentur gabungan (Kg.mm)

K_t = Faktor koreksi momen puntir

1,0 jika beban dikenakan halus

1,0– 1,5 jika beban terjadi sedikit kejutan atau tumbukan

1,5 – 3,0 jika beban dikenakan dengan kejuan atau tumbukan besar

T = momen rencana (Kg.mm)

- f. Perhitungan terhadap defleksi lenturan (θ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (Sularso, 2002) :

$$\theta = \frac{584 T l}{G d_s^4} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

θ = defleksi lenturan (\square)

T = Momen puntir (Kg.mm)

l = Panjang poros (mm)

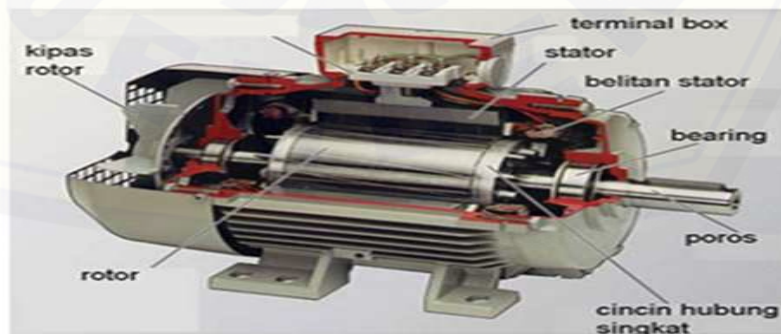
G = Modulus geser = $8,3 \times 10^3$ (Kg/mm²)

d_s = Diameter poros (mm)

Untuk poros dalam kondisi kerja normal, besarnya sudut puntir harus di batasi $0,25^\circ$ sampai $0,3^\circ$ permeter panjang poros.

2.9 Motor Listrik

Motor listrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Alat yang berfungsi sebaliknya, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik disebut generator atau dinamo. Motor listrik dapat ditemukan pada peralatan rumah tangga seperti kipas angin, mesin cuci, pompa air dan penyedot debu. Pada motor listrik tenaga listrik diubah menjadi tenaga mekanik. Perubahan ini dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektro magnet.



Gambar 2.21 Motor Listrik (elektro-unimal.com)

2.9.1 Bagian-bagian Motor Listrik

a) Stator

Stator adalah bagian dari motor listrik yang tidak dapat bergerak. Stator terdiri dari rumah dengan alur alur yang di buat dari pelat pelat yang di pejalkan berikut tutupnya .

b) Rotor

Rotor adalah bagian dari motor listrik yang dapat bergerak. Bentuk rotor motor induksi, yaitu terdiri dari pelat pelat yang di pejalkan berbentuk silinder. Di sekeliling terdapat alur alur kemudian di tempatkan batang batang kawat. Batang kawat tersebut biasanya di buat dari tembaga, bagian bagian ini adalah bagian yang bergerak.

c) *Bearing*

Bearing adalah sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan.

d) Belitan stator

Belitan stator atau kumparan stator merupakan tempat terjadinya medan magnet yang ditempatkan pada alur stator motor. Kumparan stator dirancang agar membentuk jumlah kutub tertentu, untuk menghasilkan jumlah putaran yang diinginkan. Kumparan stator dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu:

e) Terminal box

Terminal box merupakan sebuah kotak kecil yang menempel pada badan motor listrik, biasanya akan berada di atas atau di bawah bagian dari motor listrik, terminal box ini fungsinya adalah sebagai tempat disambungkannya kabel-kabel yang berasal dari power suplai ke kabel-kabel milik motor listrik.

f) Kipas Rotor

Kipas rotor fungsinya adalah untuk mendinginkan motor listrik , posisinya berada di ujung dari motor listrik itu sendiri, kipas rotor terbuat dari bahan plastik

keras, cara kerjanya mirip dengan kipas angin dirumah kita , yakni mengisap udara dan menghembuskannya ke badan motor listrik sehingga menjadi dingin.

2.9.2 Macam-Macam Motor Listrik

Tipe atau jenis motor listrik yang ada saat ini beraneka ragam jenis dan tipenya. Semua jenis motor listrik yang ada memiliki 2 bagian utama yaitu stator dan rotor, stator adalah bagian motor listrik yang diam dan rotor adalah bagian motor listrik yang bergerak (berputar). Pada dasarnya motor listrik dibedakan dari jenis sumber tegangan kerjayang digunakan. Berdasarkan sumber tegangan kerjanya motor listrik dibedakan menjadi 2 jenis :

- a. Motor listrik arus bolak balik AC (*Alternative current*)
- b. Motor listrik arus searah DC (*Direct current*)

Dari 2 jenis motor listrik diatas terdapat varian atau jenis-jenis motor listrik berdasarkan prinsip kerjanya.

2.9.3 Motor Listrik Arus Bolak-Balik

Motor listrik arus bolak-balik adalah jenis motor listrik yang beroperasi dengan sumber tegangan arus listrik bolak balik (AC, Alternating Current).



Gambar 2.22 Motor listrik AC (Sumber : Insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-induksi-3-fasa/)

Motor sinkron adalah motor AC bekerja pada kecepatan tetap pada sistim frekwensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk pembangkitan daya dan memiliki torque awal yang rendah, dan oleh karena itu motor sinkron cocok

untuk penggunaan awal dengan beban rendah, seperti kompresor udara, perubahan frekuensi dan generator motor. Motor induksi, merupakan motor listrik AC yang bekerja berdasarkan induksi menjadi dua kelompok utama sebagai berikut :

a. Motor Induksi Satu Fase

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga.

b. Motor induksi tiga fase

Medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga fase yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai); dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakannya.

2.9.4 Motor Listrik Arus Searah

Motor DC adalah jenis motor listrik yang bekerja menggunakan sumber tegangan DC. Motor DC atau motor arus searah sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung dan tidak langsung/direct-unidirectional. *Motor DC* digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torque yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.



Gambar 2.23 Motor listrik arus searah DC (Sumber :
<http://zoniaelektro.net/motor-dc/>)

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan rolling mills, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC. Hubungan antara kecepatan, flux medan dan tegangan kumparan motor DC ditunjukkan dalam persamaan berikut :

2.9.5 Jenis-Jenis Motor DC

a. Motor DC sumber daya sendiri/ Self Excited:

Pada motor shunt, gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan kumparan motor DC (A) seperti diperlihatkan dalam gambar dibawah. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus kumparan motor DC.

b. Motor DC dayasendiri (Motor seri)

Dalam motor seri, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara seri dengan gulungan kumparan motor DC (A) Motor-motor seri cocok untuk penggunaan yang memerlukan torque penyalaan awal yang tinggi, seperti Derek.

c. Motor DC Kompon/Gabungan

Motor Kompon DC merupakan gabungan motor seri dan shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan kumparan motor DC (A).

2.10 Perencanaan Daya

Daya yang diperlukan untuk menggerakkan poros, dimana besarnya tergantung kapasitas mesin. Dalam proses pengujian alat ini menggunakan motor listrik. Daya yang direncanakan dihitung menurut persamaan – persamaan berikut:

a. Gaya yang terjadi pada alat uji bearing (Halliday, 1996)

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

m = massa (kg)

F = Gaya (N)

g = Gaya gravitasi (m/s²)

b. Torsi yang diperlukan (Sularso,2002) :

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

T = Torsi (Kg.mm)

F = Gaya yang terjadi (Kg)

r = Jari – jari poros (mm)

c. Daya yang diperlukan untuk alat uji bearing (Sularso,2002) :

$$P = \frac{T}{1000} \left(2\pi \frac{n_2}{60} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

P = Daya minimal input poros (kW)

T = Torsi poros pengaduk (Kg.mm)

n₂ = Putaran Poros (rpm)

d. Untuk menjaga keamanan maka daya dikalikan faktor koreksi (f_c) sehingga di dapat daya rencana (Sularso,2002) :

$$P_d = f_c \cdot P \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

P_d = Daya Rencana (kW)

P = Daya (kW)

f_c = Faktor koreksi daya yang ditransmisikan

1,2 – 2,0 : Untuk daya rata– rata yang diperlukan

0,8 – 1,2 : Daya maksimum yang diperlukan

1,0 – 1,5 : Daya yang di transmisikan

2.11 Perencanaan Ulir

Langkah-langkah untuk merencanakan mur standar (Sularso, 2002):

- a. Menentukan besarnya beban maksimum yang diterima. Dengan faktor koreksi (f_c) = 1,2 – 2,0 untuk perhitungan terhadap deformasi (Sularso, 2000).

$$W_{max} = W_0 \cdot f_c \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

- W_{max} = beban maksimal
- W_0 = Beban (kg)
- f_c = Faktor koreksi

- b. Menentukan jenis bahan ulir
Tegangan tarik yang diizinkan

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b}{S_f} \dots\dots\dots(2.17)$$

Tegangan geser yang diizinkan

$$\tau_a = 0,5 \cdot \sigma_a \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan :

- σ_a = Tegangan tarik yang diizinkan
- S_f = Faktor koreksi
- σ_b = Kekuatan tarik (N/mm²)
- τ_a = Tegangan geser yang diizinkan (N/mm²)

- c. Menentukan diameter poros

$$D \geq \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot \sigma_a \cdot 0,64}} \dots\dots\dots(2.19)$$

- d. Menentukan jumlah dan tinggi ulir yang diperlukan

$$Z \geq \frac{W}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot q_a} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

- Z = Jumlah ulir yang diperlukan

- W = Beban yang diterima (kg)
 d_2 = Diameter efektif ulir dalam (mm)
 H_1 = Tinggi kaitan (mm)
 q_a = Tekanan permukaan yang diizinkan (N/mm^2)

e. Jumlah ulir yang dipakai adalah

$$Z = \frac{H}{P} \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan :

- Z = Jumlah ulir yang diperlukan
 H = Tinggi ulir (mm)
 P = Jarak bagi ulir (mm)

BAB 3. METODOLOGI KEGIATAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam alat uji ini antara lain :

- | | |
|--------------------|----------------------------|
| 1. Arbor | 10. Obeng(-) dan (+) |
| 2. Las listrik | 11. Bantalan yang diuji |
| 3. Penitik | 12. Motor listrik |
| 4. Kunci pas 1 set | 13. Kopel poros |
| 5. Mesin bubut | 14. Mekanisme beban radial |
| 6. Mesin Frais | 15. <i>Load cell</i> 50 kg |
| 7. Mesin Bor | 16. Tachometer |
| 8. Gerinda | 17. Mekanisme beban aksial |
| 9. Tang | 18. Ragum |

3.1.2 Bahan

- | | |
|------------------------|-----------------|
| 1. Besi poros | 6. Elektroda |
| 2. Besi kanal U | 7. Batu gerinda |
| 3. Motor listrik | 8. Besi Plat |
| 4. Poros Fleksibel | 9. Mur dan Baut |
| 5. Bantalan yang diuji | 10. Cat besi |

3.2 Waktu dan Tempat

3.2.1 Waktu

Analisa, perancangan, pembuatan dan pengujian alat dilaksanakan selama $\pm 3,5$ bulan berdasarkan pada jadwal yang ditentukan.

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

No	Nama kegiatan	Mei				Juni				Juli				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pembuatan proposal	■	■														
2	Pembuatan studi pustaka			■	■	■	■										
3	Seminar proposal							■	■	■	■						
4	Proses pengerjaan alat									■	■	■	■	■			
5	Pengujian alat													■	■		
6	Alat selesai														■		
7	Seminar hasil															■	
8	Sidang proyek akhir																■

3.2.2 Tempat

Tempat pelaksanaan perancangan dan pembuatan mesin uji bearing di riset tim Mobil Listrik Titen Fakultas Teknik, LPM (Lembaga Pengabdian Masyarakat) Universitas Jember.

3.3 Metode Pelaksanaan

3.3.1 Pencarian Data

Dalam merencanakan sebuah perancangan mesin uji *bearing* perlu ada data serta literatur dalam proses pengujiannya. Maka dilakukan pengamatan dan sebuah data literatur dalam proses pembuatan alat.

3.3.2 Studi Pustaka

Sebagai penunjang dan referensi dalam pembuatan mesin uji *bearing* (uji nilai *rolling resistance*) adalah:

1. Beban poros
2. Beban radial
3. Proses pemesinan.

3.3.3 Perancangan dan Perencanaan

Setelah melakukan pencarian data dan pembutan konsep yang di dapat dari literatur studi kepustakaan serta dari hasil survei, maka dapat direncanakan bahan-bahan yang di butuhkan dalam perancangan dan pembuatan mesin uji *bearing*. Dari studi lapangan dan studi pustaka tersebut dapat dirancang pemesinan. Dalam proyek ini proses yang akan dirancang adalah:

1. Perencanaan sebuah poros serta pemilihan motor listrik yang digunakan
2. Perencanaan *bearing* yang akan digunakan
3. Perencanaan beban pemberat serta alat-alat yang digunakan.
4. Perencanaan proses perakitan dan finishing.

3.3.4 Proses Pembuatan

Proses ini merupakan proses pembuatan alat yang meliputi proses pemesinan untuk membentuk suatu alat sesuai dengan desain yang di hasilkan. Adapun macam proses pemesinan yang di lakuakn dalam pembuatan mesin uji *bearing* (uji nilai *rolling resistance*)

1. Proses pemotongan
2. Proses pembubutan
3. Proses pengeboran
4. Proses pengelasan

3.3.5 Proses perakitan

Yaitu proses perakitan mesin uji *bearing* dengan 4 tingkat kekasaran ampelas meliputi perakitan kontruksi rangka sesuai dengan desain yang di inginkan. Berikut langkah-langkah perakitan rangka:

1. Menyiapkan peralatan mesin bubut / frais dan menggunakan alat keamanan kerja (*safety*).

2. Pemotongan bahan sesuai ukuran dan ukuran di lebihkan untuk proses pembuatan sehingga hasil yang diperoleh cukup baik.
3. Setting mesin bubut / frais sebelum digunakan sesuai kebutuhan.
4. Masukkan bahan ke chuck atau cekam, kemudian setting pahat bubut/ mesin frais yang akan digunakan.
5. Pastikan bahan dan pahat sudah tercekam dengan sempurna pada chuck atau toolpush.
6. Pastikan semua sudah disetting dengan sempurna kemudian, kita dapat melakukan proses pembubutan secara bertahap sesuai ukuran.
7. Proses finishing.

3.3.6 Pengujian Alat dan Rangka

Prosedur pengujian alat dan rangka dilakukan secara visual, yaitu dengan cara berikut:

1. Mengukur ukuran poros apakah sesuai ukuran yang diinginkan.
2. Memeriksa kondisi fisik poros
3. Percobaan pemasangan poros pada alat uji bantalan.

3.3.7 Penyempurnaan Alat

Penyempurnaan alat ini dilakukan apabila terhadap pengujian terdapat masalah atau kekurangan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik sesuai prosedur tujuan dan perancangan yang dilakukan.

3.3.8 Cara Kerja Alat

Prosedur kerja alat uji *bearing* ini yaitu dengan cara berikut :

Sebelum melaksanakan pengambilan data akan dilakukan perhitungan gaya rugi pada alat (F_{pf}) yaitu dengan mengamati nilai *rolling resistance* (F_r) yang terukur pada timbangan *load cell*. Ketika poros diputar pada masing-masing kecepatan yaitu 295 rpm, 310 rpm dan 325 rpm. Nilai yang diamati pada *load cell* tersebut adalah nilai sebelum diberi variasi pembebanan pada bantalan.

Setelah diketahui gaya rugi (F_{pf}) pada masing-masing kecepatan putar kemudian melakukan pengambilan data dengan mengamati nilai *load cell* dengan pemberian variasi beban dan variasi kecepatan putar (F_{t1}). Gaya rugi (F_{pf}) tadi akan dijadikan pengurangan (F_{t1}) untuk memperoleh nilai *rolling resistance* (F_r).

3.3.9 Alat-alat yang digunakan dalam pengambilan data antara lain :

a. Alat uji *rolling resistance* bantalan



Gambar 3.1 Alat uji *rolling resistance* pada bantalan

Keterangan :

- | | |
|--|---------------------------|
| 1. Bantalan yang diuji (<i>Test Bearing</i>) | 5. <i>Load cell</i> 50 Kg |
| 2. Motor listrik | 6. <i>Tachometer</i> |
| 3. Kopel poros | 7. Mekanisme beban aksial |
| 4. Mekanisme beban radial | |

b. Timbangan Emas *Load Cell* 200 gram

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

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



Gambar 3.2 Timbangan Emas *Load Cell* 200 gram

c. *Load Cell* 50 kg

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

- *Capacity* : 50 kg
- *Sensitivitas Output* : 1.0 +/- 15% mv/V



Gambar 3.3 *Load cell* 50 kg

d. Timbangan Gantung *Load Cell* 50 kg

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

- *Capacity* : 50 kg
- *Accuracy* : 0,01 kg



Gambar 3.4 Timbangan gantung *load cell* 50 kg

e. *Tachometer*

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



Gambar 3.5 *Tachometer*

c. *Multimeter*

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

Gambar 3.6 *Multimeter*

f. Motor listrik BLDC

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

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



Gambar 3.7 Motor listrik BLDC 800 watt

g. Bantalan

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



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

Bantalan yang diuji masing-masing memiliki perbedaan pada tipe nya, berikut adalah spesifikasinya :

Tabel 3.2 Spesifikasi bantalan

Kode	Dimensi (mm)			Berat (kg)
	<i>outer</i>	<i>inner</i>	tebal	
6002	32	15	9	0,03
6202	35	15	11	0,045
6302	42	15	13	0,082

Berikut adalah prosedur cara kerja alat uji *bearing* dalam melaksanakan pengujian atau langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengambilan data :

1. Memasang bantalan yang akan diuji pada posisi pengujian. Ada tiga tipe bantalan yang akan dijadikan eksperimen yaitu : 6002, 6202, 6302.
2. Memasang timbangan *load cell* pada alat uji sebagai pengukur nilai *rolling resistance* bantalan.
3. Putar poros pada masing-masing kecepatan 295 rpm, 310 rpm, 325 rpm tanpa ada pembebanan. Kemudian catat nilai yang terukur pada *load cell* (F_{t_0}) untuk

masing-masing level kecepatan. Nilai tersebut merupakan gaya rugi alat (F_{pf}) digunakan sebagai pengurangan (F_{t1}) untuk menghitung gaya *rolling resistance* (F_r).



Gambar 3.9 Pengukuran gaya rugi pada setiap level kecepatan bantalan.

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



Gambar 3.10 Mekanisme pengatur beban radial bantalan

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



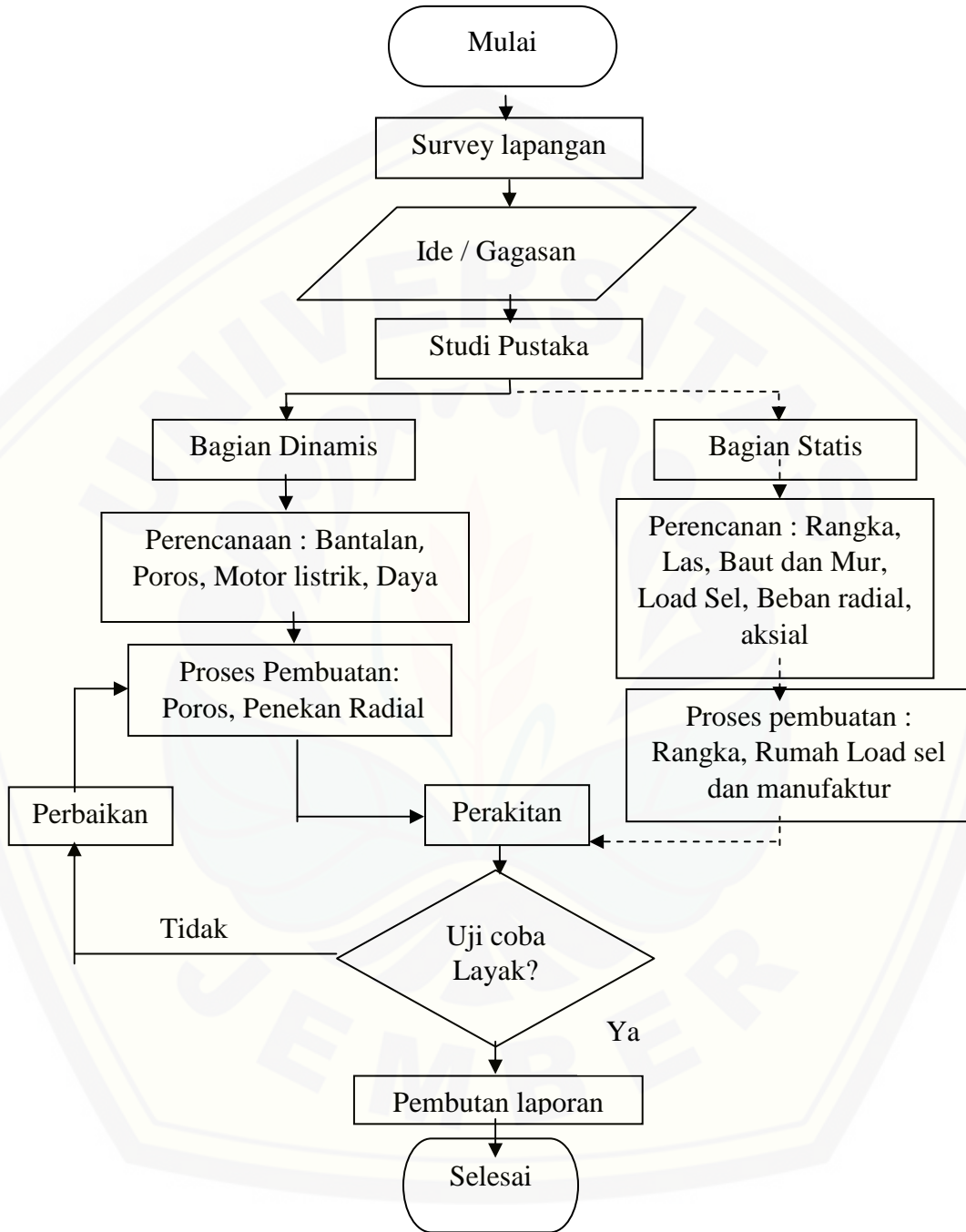
Gambar 3.11 Mekanisme pengatur beban aksial bantalan

7. Amati nilai yang terukur pada timbangan emas *load cell* 200 gr. Nilai tersebut menunjukkan gaya *rolling resistance* (F_{t1}) bantalan .

8. Ulangi langkah (1) sampai (7) dengan merubah nilai variable kecepatan putar, beban radial, dan beban aksial sesuai dengan kombinasi level.
9. Lakukan langkah (1) sampai (8) pada tiga tipe bantalan yang dijadikan objek pengujian yaitu 6002, 6202, dan 6302.



3.4 Diagram Alir Perancangan



Gambar 3.12 Diagram Alir Perancangan

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan alat pengujian *bearing*, maka dapat disimpulkan :

1. Daya yang diperlukan adalah 0,262 kW dengan spesifikasi motor listrik 1Hp dan kecepatan putaran yang diperlukan 325 rpm.
2. Bahan poros yang digunakan S30C dengan kekuatan tarik 52 kg/mm². diameter poros yang digunakan 20 mm dan panjang 245 mm.
3. *Bearing* yang digunakan untuk menumpu poros adalah bearing tipe 6302. Faktor kecepatan putaran bearing 12,716 rpm dan umur *bearing* bertahan sekitar 2,5 tahun.
4. Bahan ulir yang digunakan S30C dengan kekuatan tarik 3,4 kg/mm². Diameter ulir yang digunakan 15 mm, jumlah ulirnya 45 .

5.2 Saran

Dalam perancangan dan pembuatan alat pengujian *bearing* ada beberapa hal yang perlu disempurnakan, antara lain:

1. Keterbatasan pembuatan alat pengujian *bearing* ini adalah setiap *bearing* yang akan di uji harus membuat rumah bearing dan poros untuk pengujian, karena setiap *bearing* memiliki diameter dalam dan diameter luar yang berbeda sehingga harus menyesuaikan dengan ukuran *bearing* yang akan diuji.

DAFTAR PUSTAKA

- Juhala, M. 2014. *Improving vehicle rolling resistance and aerodynamics*. aalto university, Finland : Woodhead Publishing Limited.
- Siahaan, I. H. dan Anggono, W. *Fenomena Parameter Design Pengaruh Tipe Ban dan Kontak Permukaan Jalan Terhadap Transformasi Gaya Dorong Gabungan Tingkatan Transmisi Jalan Datar* . Surabaya : Universitas Kristen Petra.
- Taghavifar, H. dan Mardani, A. 2013. *Investigating the effect of velocity, inflation pressure, and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire*. Journal of Terramechanics 50 (2013) 99–106.
- Sularso dan Kiyokatsu Suga. 1997. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- IS/ISO 18164 (2005): *Passenger Car, Truck, Bus and Motor cycle Tyres - Methods of Measuring Rolling Resistance* [TED 7: Automotive Tyres, Tubes and Rims]
- Muttaqin, M Mar'iy. 2015. *Pengaruh Tekanan Udara (Inflation Preassure) Pada Ban Tipe Radial Ply Terhadap Rolling Resistance*. Jember: Universitas Jember
- Mahfud, Akhmad. 2016. *Pengaruh Viscoelasticity Terhadap Nilai Rolling Resistance Pada Ban Radial*. Jember. Universitas jember
- Armansyah. 2002. *Analisis Tahanan Gelinding (Rolling Resistance) Roda Traksi Dengan Metode Uji Roda Tunggal Pada Bak Tanah (Soil Bin)*. Bogor. Institut Pertanian Bogor
- Ricky. 2009. *Pengaruh Viscoelasticity Terhadap Nilai Rolling Resistance Pada Ban Radial*. Depok. Universitas Indonesia
- Daniel dan Deborah Gordon. 2009. *Two billion cars: driving toward sustainability*. Oxford University Press, New York. pp. 22–26. ISBN 978-0-19-537664-7.

LAMPIRAN A. PERHITUNGAN

A.1 Perencanaan Daya

Untuk mencari gaya *rolling resistance* pada pengujian *bearing* dilakukan pengukuran dengan cara menimbang berat spesimen, mengukur panjang spesimen dan mengukur diameter spesimen yang akan di uji serta momen inersia yang terdapat pada alat uji *bearing*, agar mendapat gaya roling resistance dari spesimen yang akan di uji. Berikut adalah spesifikasi dimensi dari bantalan yang akan di uji.

- a. Momen inersia yang dibutuhkan

$$I = M \times R^2 \quad \text{panjang poros motor} = 254 \text{ mm}$$

$$I = \frac{1}{2} \times M \times R^2 \quad \text{berat poros} = 1,090 \text{ Kg/ } 1,1 \text{ Kg}$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,1 \times 10^2 \text{ mm} \quad \text{diameter poros} = 20 \text{ mm}$$

$$= \frac{1}{2} \times 110 \text{ kgf/mm}^2 \quad \text{jari - jari poros} = 10 \text{ mm}$$

$$= 55 \text{ Kgf/mm}^2$$

- b. Gaya yang dibutuhkan motor listrik

$$T = F \times r \quad \text{torsi motor} = 50 \text{ Nm} = 5 \text{ Kg.m}$$

$$F = \frac{T}{r} = \frac{5}{0,254} \quad \text{diameter motor} = 254 \text{ mm} = 0,254 \text{ m}$$

$$= 19,685 \text{ Kg}$$

- c. Daya rencana motor yang dibutuhkan

$$P_d = \frac{\frac{T}{1000} \left(2\pi \frac{n}{60} \right)}{102} = \frac{\left(\frac{50}{1000} \right) \left(2 \times 3,14 \times \frac{512}{60} \right)}{102}$$

$$= \frac{(0,05) (53,589)}{102}$$

$$= \frac{2,679}{102} = 0,0262 \text{ kW}$$

Maka daya yang dibutuhkan masih dalam kemampuan motor yaitu 1HP / 1,072 kW.

A2. Perencanaan Kapasitas

Gaya tangensial sebelum pembebanan (F_{t_0}) = 6,99 gram atau 0,070 N

Kecepatan putar bantalan = 295 Rpm

Ukuran diameter drum (D_d) = 36 mm atau 0,036 m

Jari-jari drum (R_d) = 18 mm atau 0,018 m

Ukuran diameter rumah bantalan (D_b) = 56 mm atau 0,056 m

Jari-jari rumah bantalan (R_b) = 28 mm atau 0,028 m

a. Gaya rugi yang terjadi

$$F_{Pf} = F_{t_0} \left[1 + \left(\frac{R_b}{R_d} \right) \right]$$

$$F_{Pf} = 0,070 \text{ N} \left[1 + \left(\frac{0,028}{0,018} \right) \right]$$

$$F_{Pf} = 0,070 \text{ N} \left[\frac{1}{1} + \left(\frac{0,028}{0,018} \right) \right]$$

$$F_{Pf} = 0,070 \text{ N} \left[\frac{0,018}{0,018} + \frac{0,028}{0,018} \right]$$

$$F_{Pf} = 0,070 \text{ N} \left(\frac{0,018 + 0,028}{0,018} \right)$$

$$F_{Pf} = 0,070 \text{ N} \left(\frac{0,046}{0,018} \right)$$

$$F_{Pf} = 0,070 \text{ N} (2,55)$$

$$F_{Pf} = 0,179 \text{ N}$$

Jadi gaya rugi (F_{Pf}) yang terjadi pada alat uji bantalan sebelum pembebanan sebesar 0,179 N atau sekitar 17,9 gram. Setelah didapatkan nilai (F_{Pf}) pada masing-masing level kecepatan putar bantalan, selanjutnya memasukkan (F_{t_1}).

Gaya tangensial sesudah pembebanan (F_{t_1}) = 18,11 gram atau 0,1811 N

Kecepatan putar bantalan = 295 Rpm

Ukuran diameter drum (D_d) = 36 mm atau 0,036 m

Jari-jari drum (R_d) = 18 mm atau 0,018 m

Ukuran diameter rumah bantalan (D_b) = 56 mm atau 0,056 m

Jari-jari rumah bantalan (R_b) = 28 mm atau 0,028 m

b. Gaya *rolling resistance* yang terjadi

$$Fr = Ft_1 \left[1 + \left(\frac{R_b}{R_d} \right) \right] - F_{Pf}$$

$$Fr = 0,180 \text{ N} \left[1 + \left(\frac{0,028}{0,018} \right) \right] - 0,179 \text{ N}$$

$$Fr = 0,180 \text{ N} \left[\left(\frac{1}{1} \right) + \left(\frac{0,028}{0,018} \right) \right] - 0,179 \text{ N}$$

$$Fr = 0,180 \text{ N} \left[\left(\frac{0,018}{0,018} \right) + \left(\frac{0,028}{0,018} \right) \right] - 0,179 \text{ N}$$

$$Fr = 0,180 \text{ N} \left(\frac{0,018+0,028}{0,018} \right) - 0,179 \text{ N}$$

$$Fr = 0,180 \text{ N} \left(\frac{0,046}{0,018} \right) - 0,179 \text{ N}$$

$$Fr = 0,180 \text{ N} (2,55) - 0,179 \text{ N}$$

$$Fr = 0,459 \text{ N} - 0,179 \text{ N}$$

$$Fr = 0,280 \text{ N}$$

Jadi gaya *rolling resistance* (Fr) yang terjadi pada alat uji bantalan sebesar 0,280 N atau sekitar 28 gram.

A3. Perencanaan Poros

a. Menghitung poros spindel

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi \times d \times n}{1000} \\ &= \frac{3,14 \times 20 \times 485}{1000} \\ &= \frac{30.458}{1000} \\ &= 30,458 \text{ m/s} \end{aligned}$$

b. Tegangan geser poros

$$Tg = \frac{T}{\frac{nds}{16}}$$

$$\begin{aligned} t_{\square} &= \frac{d.B}{(sf1 .sf2)} \\ &= \frac{70}{6,0 .3.0} \\ &= 3,8\text{kg/mm}^2 \end{aligned}$$

c. Diameter yang diinginkan

$$\begin{aligned} ds &= \left[\frac{5,1}{\tau\alpha} \cdot kt \cdot C_p T \right]^{1/3} \\ &= \left[\frac{5,1}{4,7} \cdot 1,5 \cdot 2,3 \cdot 194,62 \right]^{1/3} \\ &= [728,582743]^{1/3} \\ &= 8,983 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi poros minimum yang digunakan 8,983 mm² dan poros yang digunakan dalam alat uji *bearing* sebesar 20 mm.

d. Beban lentur yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{W.L/2}{\pi/32.d} \\ &= \frac{1,1\text{Kgf} \times 245\text{mm}/2}{3,14/32 \cdot 20 \square \text{mm}} \\ &= 68,36 \text{ kgf/mm}^2 \end{aligned}$$

e. Gaya pada poros

$$\text{Diameter poros} = 20\text{mm (R)}$$

$$\text{Jari – jari poros} = 10\text{mm(r)}$$

$$T = F.r$$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$= \frac{5 \text{ kg/m}}{0,02\text{m}}$$

$$= 250 \text{ Kg}$$

f. Torsi pada poros Fleksibel

Diameter poros fleksibel = 18mm (D)

Jadi jari- jari poros fleksibel = 9mm(r)

$$T = F \cdot r$$

$$= 250 \times 0,018\text{m}$$

$$= 4,5\text{kg.m atau } 45 \text{ N.m}$$

A4.Perencanaan *Bearing*

a. Jenis *Bearing*

Tipe *bearing gelinding* yang digunakan pada mesin uji *fatigue rotary bending* adalah 6302 dengan spesifikasi :

D = 47mm (Diameter luar bearing) B = 13mm(Ketebalan *bearinng*)

d = 15mm (Diameter dalam bearing) C = 750(Kapasitas nominal dinamis)

r = 1mm (Harga toleransi) $C_o=460\text{kg}$ (Kapasitas nominal statis)

b. Beban radial

$$RA = 9,31\text{Kg}$$

$$RB = 9,31\text{Kg}$$

$$Fr = 9,31$$

c. Beban aksial

Dikarenakan tidak terjadi beban aksial, maka besarnya $F_a = 0$

d. *Bearing* yang digunakan adalah bantalan radial, maka beban ekivalen bantalan :

Besarnya faktor – faktor X, V dan Y (sularso, 1997) :

$$X = 0.56 \text{ untuk } Fa / V Fr \leq e$$

$V = 1$ (beban putar pada cincin dalam)

$$Y = 0 \text{ untuk } Fa/V Fr \leq e$$

$$\begin{aligned} P &= X \cdot V \cdot Fr + Y \cdot Fa \\ &= (0,5 \cdot 1 \cdot 9,31) + (0 \cdot 0) \\ &= 5,21 \text{Kg} \end{aligned}$$

e. Faktor Kecepatan

$$N_2 = 0,25 \text{rpm}$$

$$\begin{aligned} F_n &= \left(\frac{33,3}{N_2} \right)^{1/3} \\ &= \frac{3,179}{12,716} \\ &= 12,716 \text{ rpm} \end{aligned}$$

f. Umur *Bearing*

Faktor Umur *Bearing* (F_h)

$$\begin{aligned} F_h &= f_n \cdot \frac{C}{P} \\ &= 12,716 \cdot \frac{750}{5,21} \\ &= 1830,5 \end{aligned}$$

Umur Nominal (L_h)

$$\begin{aligned} L_h &= 500 \cdot f_h^3 \\ &= 500 \cdot (1830,5)^3 \\ &= 6133 \times 10^6 \cdot 500 \\ &= 3066500 \times 10^6 \\ &= 3066,5 \times 10^9 \text{ jam} \\ &= \frac{30665,5}{24 \text{ jam}} \cdot 10^9 \text{ jam} \\ &= \frac{1227208,33 \text{ hari}}{365 \text{ hari}} \\ &= 2,5 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Faktor keandalan umur *bearing* (Ln)

$a_1 = 1$ (faktor keandalan 90%)

$a_2 = 1$ (untuk bahan baja *bearing* yang dicairkan secara terbuka)

$a_3 = 1$ (karena tidak adanya kondisi tertentu yang tidak menguntungkan umur *bearing*)

$$\begin{aligned} L_n &= a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L_h \\ &= 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3066,5 \times 10^9 \text{ jam} \\ L_n &= 3066,5 \times 10^9 \text{ jam.} \end{aligned}$$

A.5 Perencanaan perhitungan Ulir

- a. Menentukan besarnya beban maksimal yang dapat diterima oleh masing-masing Ulir dengan faktor koreksi (f_c) = 1,2 – 2,00, maka faktor koreksi yang diambil adalah $f_c = 1,2$

$$\begin{aligned} \longrightarrow W_{max} &= W_0 \cdot f_c & W_0 &= \text{berat beban radial} + \text{beban aksial} + \\ &= 52,5 \times 1,2 & & \text{beban motor listrik} \\ &= 63 \text{ kg} & & = (25 + 20 + 7,5) \text{ kg} \\ & & & = 52,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban yang diterima oleh masing-masing baut:

$$W = \frac{63}{14} = 4,5 \text{ Kg}$$

- b. Menentukan bahan ulir

Bahan baut dan mur yang direncanakan dari baja liat dengan kadar karbon 0,2% C = ST-34, $\sigma_b = 330 - 410 \text{ N/mm}^2 \approx 34 \text{ kg/mm}^2$. Sehingga diketahui faktor keamanan (S_f) 8 – 10 ≈ 10 . Tekanan permukaan yang diizinkan (q_a) = 3 kg/mm².

- c. Kekuatan tarik yang diizinkan (σ_a)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b}{S_f}$$

$$= \frac{34 \text{ kg/mm}^2}{10}$$

$$= 3,4 \text{ kg/mm}^2$$

d. Kekuatan geser yang diizinkan (τ_a)

$$\tau_a = 0,5 \cdot \sigma_a$$

$$= 0,5 \times 3,4$$

$$= 1,7 \text{ kg/mm}^2$$

Dengan mengetahui besar beban maksimum dan besar tegangan geser yang diizinkan pada masing-masing baut, maka diameter D dapat dihitung:

$$\begin{aligned} D &\geq \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot \sigma_a \cdot 0,64}} \\ &\geq \sqrt{\frac{4 \cdot 4,5}{3,14 \cdot 3,4 \cdot 0,64}} \\ &\geq \sqrt{\frac{18}{6,83}} \\ &\geq \sqrt{2,6354} \\ &\geq 1,62334 \end{aligned}$$

Disini diambil $D = 6 \text{ mm}$

Sehingga ulir yang dipilih ulir metris dengan ukuran standart M15 dan didapat standart dimensi sebagai berikut:

Dimensi luar ulir dalam (D)	= 15	mm
Jarak bagi (p)	= 2	mm
Diameter inti (d_1)	= 12,9	mm
Tinggi kaitan (H_1)	= 0,541	mm
Diameter efektif ulir dalam (d_2)	= 5,350	mm

Dari hasil data diatas dapat ditetapkan untuk perhitungan ulir dalam dimana untuk ulir metris harga $k \approx 0,84$ dan $j \approx 0,75$.

Pitch ulir (Z) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} z &\geq \frac{W}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot q_a} \\ &\geq \frac{4,5}{3,14 \cdot 5,35 \cdot 0,541 \cdot 3} \\ &\geq \frac{4,5}{27,264777} \\ &\geq 0,16504 \end{aligned}$$

e. Tinggi ulir (H) yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} H &\geq z \times p \\ &\geq 0,16504 \times 2 \\ &\geq 0,33008 \text{ mm} \end{aligned}$$

menurut standar :

$$\begin{aligned} H &\geq (0,8 - 1,0) \cdot D \\ &\geq (1,0) \times 15 \\ &\geq 15 \text{ mm} \rightarrow 15 \end{aligned}$$

f. Tinggi ulir yang akan diambil adalah 10 mm, sehingga jumlah ulir mur (Z') adalah:

$$\begin{aligned} Z' &= \frac{H}{p} \\ &= \frac{15}{2} \\ Z' &= 7,5 \end{aligned}$$

g. Kekuatan geser akar ulir baut τ_b adalah:

$$\begin{aligned}
 \tau_b &= \frac{W}{\pi \cdot d_1 \cdot k \cdot p \cdot z'} \\
 &= \frac{4,5}{3,14 \cdot 12,9 \cdot 0,84 \cdot 2 \cdot 7,5} \\
 &= \frac{4,5}{510,3756} \\
 &= 0,00881 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

h. Kekuatan geser akar ulir τ_n adalah:

$$\begin{aligned}
 \tau_n &= \frac{W}{\pi \cdot D \cdot j \cdot p \cdot z'} \\
 &= \frac{4,5}{3,14 \cdot 15 \cdot 0,75 \cdot 2 \cdot 7,5} \\
 &= \frac{4,5}{529,875} \\
 &= 0,00849 \text{ kg/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{maka : } \tau_a \geq \tau_b \approx 1,7 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,00881 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_a \geq \tau_n \approx 1,7 \text{ kg/mm}^2 \geq 0,00849 \text{ kg/mm}^2$$

Harga τ_n dan τ_b memenuhi syarat yang ditentukan, sehingga ulir yang dipilih M15 dengan ketinggian ulir 15 mm dan dari bahan baja liat dengan kadar karbon 0,2%C.

B. LAMPIRAN TABEL

TABEL B.1 SIFAT-SIFAT MEKANIS

Bahan	Teganganleleh σ_y		Teganganbatas σ_u		Persen pemanjangan (panjang ukuran 50 mm)
	ksi	MPa	ksi	MPa	
Aluminium (murni)	3	20	10	70	60
Aluminium campuran	5 - 70	35 - 500	15 - 80	100 - 550	1 - 45
2014 - T6	60	410	70	480	13
6061 - T6	40	270	45	310	17
7075 - T6	70	480	80	550	11
Kuningan	10 - 80	70 - 550	30 - 90	200 - 620	4 - 60
Kuningan merah (80% Cu, 20% Zn); keras	70	470	85	590	4
Kuningan merah (80% Cu, 20% Zn); lunak	13	90	43	300	50
Kuningan naval ; keras	60	410	85	590	15
Kuningan naval ; lunak	25	170	59	410	50
Batu-bata (tekan)			1 - 10	7 - 70	
Perunggu	12 - 100	82 - 690	30 - 120	200 - 830	5 - 60
Perunggu mangan ; keras	65	450	90	620	10
Perunggu mangan ; lunak	25	170	65	450	35
Besi tuang (tarik)	17 - 42	120 - 920	10 - 70	69 - 480	0 - 1
Besi tuang kelabu	17	120	20 - 60	140 - 410	0 - 1
Besi tuang (tekan)			50 - 200	340 - 1.400	
Beton (tekan)			1,5 - 10	10 - 70	
Kekuatan-rendah			2	14	
Kekuatan-sedang			4	28	
Kekuatan-tinggi			6	41	
Tembaga					
Keras-ditarik	48	330	55	380	10
Lunak (dilunakkan)	8	55	33	230	50
Tembaga berillium	110	760	120	830	4
Kaca			5 - 150	30 - 1.000	
Kaca datar			10	70	
Serat kaca			1.000 - 3.000	7.000 - 20.000	
Magnesium (murni)	3 - 10	20 - 70	15 - 25	100 - 170	5 - 15
Campuran	12 - 40	80 - 280	20 - 50	140 - 340	2 - 20
Monel (67% Ni, 30% Cu)	25 - 160	170 - 1.100	65 - 170	450 - 1.200	2 - 50
Nikel	20 - 90	140 - 620	45 - 110	310 - 760	2 - 50
Nilon			6 - 10	40 - 70	50
Karet	0,2 - 1,0	1 - 7	1 - 3	7 - 20	100 - 800
Baja					
Kekuatan tinggi	50 - 150	340 - 1.000	80 - 180	550 - 1.200	5 - 25
Mesin	50 - 100	340 - 700	80 - 125	550 - 860	5 - 25
Pegas	60 - 240	400 - 1.600	100 - 270	700 - 1.900	3 - 15
Tahan-karat	40 - 100	280 - 700	60 - 150	400 - 1.000	5 - 40
Alat	75	520	130	900	8
Baja, struktural	30 - 100	200 - 700	50 - 120	340 - 830	10 - 40
ASTM-A36	36	250	60	400	30
ASTM-A572	50	340	70	500	20
ASTM-A514	100	700	120	830	15
Kawat baja	40 - 150	280 - 1.000	80 - 200	550 - 1.400	5 - 40
Batu (tekan)					
Granit			10 - 40	70 - 280	
Batu-kapur			3 - 30	20 - 200	
Marmer			8 - 25	50 - 180	
Titanium (murni)	60	400	70	500	25
Campuran	110 - 130	760 - 900	130 - 140	900 - 970	10
Tungsten			200 - 600	1.400 - 4.000	0 - 4
Kayu					
Ash	6 - 10	40 - 70	8 - 14	50 - 100	
Douglas fir	5 - 8	30 - 50	8 - 12	50 - 80	
Ek (Oak)	6 - 9	40 - 60	8 - 14	50 - 100	
Cemara (southern pine)	6 - 9	40 - 60	8 - 14	50 - 100	
Kayu (tekan, sejajar dengan serat)					
Ash	4 - 6	30 - 40	5 - 8	30 - 50	
Douglas fir	4 - 8	30 - 50	6 - 10	30 - 50	
Ek (Oak)	4 - 6	30 - 40	5 - 8	30 - 50	
Cemara (southern pine)	4 - 8	30 - 50	6 - 10	40 - 70	
Besitempa	30	210	50	340	35

Sumber : Gere & Timoshenko.1996. *MekanikaBahan* jilid 1. Erlangga. Jakarta

TABEL B.2 KONVERSI DARI SATUAN YANG BIASA DI AS KE SATUAN SI

Satuan yang biasa di AS		Faktorkonversipengali		Samadengansatuan SI	
		Teliti	Praktis		
Percepatan					
kaki per detik kuadrat	kaki /det ²	0.3048*	0.305	Meter per detik kuadrat	m/det ²
inci per detik kuadrat	inci/det ²	0.0254*	0.0254	Meter per detik kuadrat	m/det ²
Luas					
kaki kuadrat	kaki ²	0.09290304*	0.0929	Meter kuadrat	m ²
Inci kuadrat	inci ²	645.16*	645	Milimeter kuadrat	mm ²
Kerapatan (massa)					
Slug per kaki kubik	slug/kaki ³	515.379	515	Kilogram per meter kubik	kg/m ³
Energi, kerja					
Kaki-pon	kaki-lb	1.35582	1.36	joule	J
Kilowatt-jam	kWh	3.6*	3.6	Megajoule	MJ
Satuan panas Inggris	Btu	1055.06	1055	Joule	J
Gaya					
Pon	lb	4.44822	4.45	Newton	N
Kip (1000 pon)	k	4.44822	4.45	Kilonewton	kN
Intensitas cahaya					
Pon per kaki	lb/kaki	14.5939	14.6	Newton per meter	N/m
Kip per kaki	k/kaki	14.5939	14.6	Kilonewton per meter	kN/m
Panjang					
Kaki	kaki	0.3048*	0.305	Meter	m
Inci	inci	25.4*	25.4	Milimeter	mm
Mil		1.609344*	1.61	Kilometer	km
Massa					
Slug		14.5939	14.6	Kilogram	kg
Momen gaya; torca					
Kaki-pon	kaki-lb	1.35582	1.36	Newton meter	Nm
Inci-poninci-lb		0.112985	0.113	Newton meter	Nm
Kaki-kip	kaki-k	1.35582	1.36	Kilonewton meter	kN-m
Inci-kip	inci-k	0.112985	0.113	Kilonewton meter	kN-m
Momen inersia (massa slug kaki kuadrat)		1.35582	1.36	Kilogram meter kuadrat	kg-m ²
Momeninersia (momenkedua arid luas)					
Inci pangkat empat	inci ⁴	416.231	416.000	Milimeter pangkat empat	mm ⁴
Inci pangkat empat	inci ⁴	0.416231 × 10 ⁻⁶	0.416 × 10 ⁻⁶	Meter pangkat empat	m ⁴
Daya					
Kaki-pon per detik	kaki-lb/det	1.35582	1.36	Watt	W
Kaki-pon per menit	kaki-lb/menit	0.0225970	0.0226	Watt	W
Daha kuda (550 kaki-pon per detik)	hp	745.701	746	Watt	W
tekanan; tegangan					
pon per kaki kuadrat	lb/kaki ²	47.8803	47.9	PascalPa	
pon per inci kuadrat	lb/inci ²	6894.76	6890	PascalPa	
kip per kaki kuadrat	k/kaki ²	47.8803	47.9	Kilopascal	kPa
kip per inci kuadrat	k/inci ²	6894.76	6890	Kilopascal	kPa
Modulus tampang					
Inci pangkat tiga	inci ³	16.387.1	16.400	Milimeter pangkat tiga	mm ³
Inci pangkat tiga	inci ³	16.3871 × 10 ⁻⁶	16.4 × 10 ⁻⁶	Meter pangkat tiga	m ³
Berat spesifik (kecepatan berat)					
Pon per kaki kubik	lb/kaki ³	157.087	157	Newton per meter kubik	N/m ³
Pon per incikubik	lb/inci ³	271.447	271	Kilonewton per meter kubik	kN/m ³
Kecepatan					
Kaki per detik	kaki/detik	0.3048*	0.305	Meter per detik	m/det
Inci per detik	inci/detik	0.0254*	0.0254	Meter per detik	m/det
Mil per jam	inci/detik	0.44704*	0.447	Meter per detik	m/det
Mil per jam	mil/jam	1.609344*	1.61	Kilometer per jam	km/jam
Volume					
Kaki kubik	kaki ³	0.0283168	0.0283	Meter kubik	m ³
Inci kubik	inci ³	16.3871 × 10 ⁻⁶	16.4 × 10 ⁻⁶	Meter kubik	m ³
Incikubik	inci ³	16.3871	16.4	Sentimeter kubik	cm ³
Galon		3.78541	3.79	Liter	L
Galon		0.00378541	0.00379	Meter kubik	m ³

* Faktorkonversi yang pasti

catatan : untuk mengkonversi Satuan SI ke satuan AS, bagilah dengan faktor konversi.

Sumber : Gere & Timoshenko.1996. *MekanikaBahan* jilid 1. Erlangga: Jakarta.

TABEL B.3 MASSA JENIS BAHAN (...)

(Satuan : kg/Dm³)

Bahan	MassaJenis	Bahan	MassaJenis
Aether (Minyak Tanah)	0,91	Gelas Cermin	2,46
Air Raksa	13,60	Gemuk	0,93
Alkohol (Bebas Air)	0,79	Gips (Bakar)	1,80
AluminiumMurni	2,58	Gips (Tuang, Kering)	0,97
AluminiumTuang	2,60	Glycerine	1,25
AluminiumTempa	2,75	Granit	2,50 – 3,10
AluminiumLoyang	7,70	Grafit	2,50 – 3,10
Asbes	2,10 – 2,80	Kapur (Bakar)	1,40
Aspal Murni	1,10 – 1,40	Kapur Tulis	1,80 – 2,70
Aspal Beton	2,00 – 2,50	Kaporit	2,20
Baja Tuang	7,85	Kobalt	8,50
Besi Tuang	7,25	Logam Delta	8,70
Basalt	2,70 – 3,20	Logam Putih	7,10
Batu Bara	1,40	Magnesium	1,74
Bensin	0,68 – 0,70	Mangan	7,50
Berlian	3,50	Nikel Tuang	8,28
Besi Tempa	7,60 – 7,89	Nikel Tempa	8,67
Besi Tarik	7,60 – 7,75	Perak	10,50
Besi Murni	7,88	Perunggu	8,80
Besi Vitriol	1,80 – 1,98	Platina Tuang	21,20
Bismuth	9,80	Platina Tempa	21,40
Emas	19,00 – 19,50	Tembaga Elektrolisis	8,90 – 8,95
Es	0,88 – 0,92	Tembaga Tempa	8,90 – 9,00
Fiber	1,28	Tembaga Tuang	8,80
Gabus	2,24	Timah Putih Tuang	7,25
GaramDapur	2,15	TimahPutihTempa	7,45
Gas Kokas	1,40	Timbal	11,35
Gelas Flint	3,70	Uranium	18,50

Sumber : Buku Teknik Sipil, Sunggono KH, 1995

TABEL B.4 TEGANGAN YANG DIJINKAN UNTUK SAMBUNGAN LAS KONSTRUKSI BAJA MENURUT DIN 4100

Kampuh	Kualitaskampuh	Tegangan	Baja			
			St 37 Beban		St 52 Beban	
			H	HZ [N/mm ²]	H	HZ
Kampuh temu, kampuh K dengan Kampuh sudut ganda, Kampuh steg K dengan kampuh sudut ganda	Semuakualitaskampuh	Tekandanlentur	160	180	240	270
	Bebas dari retak dan kesalahan lainnya	Tarik danlentur	160	180	240	270
Kampuh Steg-HV dengan kampuh sudut	Kualitaskampuh tidak diketahui		135	150	170	190
	Semuakualitas	Tekan dan lentur, tarik dan lentur, tegangan total	135	150	170	190
Kampuh-kampuh lainnya	Semuakualitas	Geser	135	150	170	190

Sumber : Niemen. 1999. *Elemen Mesin jilid 1*. Erlangga: Jakarta.

TABEL B.5 TEKAPAN PERMUKAAN YANG DIJINKAN PADA ULIR (Satuan : kg/mm²)

Jenis Bahan		Tekanan Permukaan Yang Diijinkan (q_a)	
Ulir Luar (Baut)	Ulir Dalam (Mur)	Untuk Pengikat	Untuk Penggerak
Baja Liat	Baja Liat atau Perunggu	3,0	1,0
Baja Keras	Baja Liat atau Perunggu	4,0	1,3
Baja Keras	Besi Cor	1,5	0,5

Sumber : Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Sularso; 1997

TABEL B.6 FAKTOR-FAKTOR KOREKSI DAYA YANG AKAN DITRANSMISIKAN, f_c

Daya yang akan ditransmisikan	f_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

Sumber : Sularso. 2002. *Perancangan Elemen Mesin*. Pradnya Paramita: Jakarta.

TABEL B.7 UKURAN STANDAR ULIR HALUS METRIS (Satuan : mm)

JenisUlir		JarakBagi(p)	Tinggi Kaitan(H_1)	UlirDalam (Mur)			
				Diameter Luar(D)	Diameter Efektif(D_2)	Diameter Dalam(D_1)	
1	2	3		UlirLuar (Baut)			
				Diameter Luar(d)	Diameter Efektif(d_2)	Diameter Inti (d_1)	
M 0,25			0,075	0,041	0,250	0,201	0,169
M 0,3			0,080	0,043	0,300	0,248	0,213
	M 0,35		0,090	0,049	0,350	0,292	0,253
M 0,4			0,100	0,054	0,400	0,335	0,292
	M 0,45		0,100	0,054	0,450	0,385	0,342
M 0,5			0,125	0,068	0,500	0,419	0,365
	M 0,55		0,125	0,068	0,550	0,469	0,415
M 0,6			0,150	0,081	0,600	0,503	0,438
	M 0,7		0,175	0,095	0,700	0,586	0,511
M 0,8			0,200	0,108	0,800	0,670	0,583
	M 0,9		0,225	0,122	0,900	0,754	0,656
M 1			0,250	0,135	1,000	0,838	0,729
M 1,2			0,250	0,135	1,200	1,038	0,929
M 1,4			0,300	0,162	1,400	1,205	1,075
M 1,7			0,350	0,189	1,700	1,473	1,321
M 2			0,400	0,217	2,000	1,740	1,567
M 2,3			0,400	0,217	2,300	2,040	1,867
M 2,6			0,450	0,244	2,600	2,308	2,113
M 3			0,500	0,271	3,000	2,675	2,459
			0,600	0,325	3,000	2,610	2,350
	M 3,5		0,600	0,325	3,500	3,110	2,850
M 4			0,700	0,0379	4,000	3,515	3,242
			0,750	0,406	4,000	3,513	3,188
	M 4,5		0,750	0,406	4,500	4,013	3,688
M 5			0,800	0,433	5,000	4,480	4,134
			0,900	0,487	5,000	4,415	4,026
			0,900	0,487	5,500	4,915	4,526

Catatan : Kolom 1 merupakan pilihan utama. Kolom 2 dan kolom 3 hanya dipilih jika terpaksa.

Sumber : DasarPerencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Sularso; 1997

TABEL B.8 UKURAN STANDAR ULIR KASAR METRIS (Satuan : mm)

JenisUlir			JarakBagi(p)	Tinggi Kaitan(H_1)	UlirDalam (Mur)		
					Diameter Luar(D)	Diameter Efektif(D_2)	Diameter Dalam(D_1)
1	2	3			UlirLuar (Baut)		
					Diameter Luar(d)	Diameter Efektif(d_2)	Inti (d_1)
M 6			1,00	0,541	6,000	5,3500	4,9170
		M 7	1,00	0,541	7,000	6,3500	5,9170
M 8			1,25	0,677	8,000	7,1880	6,6470
		M 9	1,25	0,677	9,000	8,1880	7,6470
M 10			1,50	0,812	10,00	9,0260	8,3760
		M 11	1,50	0,812	11,00	10,026	9,3760
M 12			1,75	0,947	12,00	10,863	10,106
	M 14		2,00	1,083	14,00	12,701	11,835
M 16			2,00	1,083	16,00	14,701	13,835
	M 18		2,50	1,353	18,00	16,376	15,294
M 20			2,50	1,353	20,00	18,376	17,294
	M 22		2,50	1,353	22,00	20,376	19,294
M 24			3,00	1,624	24,00	22,051	20,752
	M 27		3,00	1,624	27,00	25,051	23,752
M 30			3,50	1,894	30,00	27,727	26,211
	M 33		3,50	1,894	33,00	30,727	29,211
M 36			4,00	2,165	36,00	34,402	31,670
	M 39		4,00	2,165	39,00	36,402	34,670
M 42			4,50	2,436	42,00	39,077	37,129
	M 45		4,50	2,436	45,00	42,077	40,129
M 48			5,00	2,706	48,00	44,752	42,587
	M 52		5,00	2,076	52,00	48,752	46,587
M 56			5,50	2,977	56,00	52,428	50,046
	M 60		5,50	2,977	60,00	56,428	54,046
M 64			6,00	3,248	64,00	60,103	57,505
	M 68		6,00	3,248	68,00	64,103	61,505

Sumber : Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Sularso; 1997

Catatan : Kolom 1 merupakan pilihan utama. Kolom 2 dan kolom 3 hanya dipilih jika terpaksa.

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

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

Kec. Putar	Gaya tangensial (F_{t_0})	Gaya tangensial (F_{t_0})	Gaya rugi (F_{PF})
295 rpm	6,99 gram	0,070 N	0,179 N
310 rpm	6,677 gram	0,067 N	0,171 N
325 rpm	5,903 gram	0,060 N	0,151 N

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

Kec. Putar	Gaya tangensial (F_{t_0})	Gaya tangensial (F_{t_0})	Gaya rugi (F_{PF})
295 rpm	7,106 gram	0,071 N	0,182 N
310 rpm	6,721 gram	0,067 N	0,172 N
325 rpm	6.105 gram	0,061 N	0,156 N

- Data gaya rugi bantalan 6302 (F_{PF})

Kec. Putar	Gaya tangensial (F_{t_0})	Gaya tangensial (F_{t_0})	Gaya rugi (F_{PF})
295 rpm	7,617 gram	0,076 N	0,195 N
310 rpm	7,295 gram	0,073 N	0,186 N
325 rpm	7,105 gram	0,071 N	0,182 N

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

Eks.	Parameter			GayaTangensial/Ft ₁ (Kilogram)			Gaya Rolling Resistance/Fr (N)			Rata-rata (N)
	KecepatanP utar (rpm)	Beban Radial (N)	Beban Aksial (N)	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 1	Rep 2	Rep 3	
1	295	150	150	0,01811	0,01818	0,01944	0,28418	0,28584	0,31817	0,29606
2	295	150	200	0,02256	0,02327	0,02274	0,39790	0,41604	0,40237	0,40544
3	295	150	250	0,02426	0,02462	0,02517	0,44122	0,45054	0,46447	0,45208
4	295	200	150	0,02420	0,02437	0,02465	0,43968	0,44403	0,45131	0,44501
5	295	200	200	0,02529	0,2500	0,02605	0,46767	0,46013	0,48709	0,47163
6	295	200	250	0,02721	0,02731	0,02731	0,51673	0,51929	0,51929	0,51844
7	295	250	150	0,02636	0,02656	0,02712	0,49488	0,49999	0,51431	0,50306
8	295	250	200	0,02746	0,02867	0,02873	0,52312	0,55392	0,55545	0,54416
9	295	250	250	0,03003	0,03081	0,03096	0,58867	0,60873	0,61244	0,60328
10	310	150	150	0,01703	0,01805	0,01757	0,26459	0,29065	0,27826	0,27783
11	310	150	200	0,02189	0,02151	0,02218	0,38879	0,37907	0,39620	0,38802
12	310	150	250	0,02397	0,02341	0,02404	0,44194	0,42763	0,44373	0,43777
13	310	200	150	0,02386	0,02341	0,02294	0,43913	0,42763	0,41562	0,42746
14	310	200	200	0,02511	0,02432	0,02451	0,47107	0,45089	0,45574	0,45923
15	310	200	250	0,02597	0,02612	0,02668	0,49305	0,49689	0,51120	0,50038
16	310	250	150	0,02548	0,02552	0,02603	0,48053	0,48155	0,49459	0,48556
17	310	250	200	0,02741	0,02729	0,02684	0,52985	0,52679	0,51529	0,52397
18	310	250	250	0,03003	0,02957	0,02919	0,59681	0,58505	0,57534	0,58573
19	325	150	150	0,01464	0,01453	0,01583	0,22314	0,22046	0,25355	0,23239
20	325	150	200	0,01823	0,01757	0,01702	0,31501	0,29815	0,28409	0,29909
21	325	150	250	0,01988	0,02079	0,02067	0,35718	0,38044	0,37737	0,37166
22	325	200	150	0,01952	0,02083	0,01983	0,34798	0,38146	0,35590	0,36178
23	325	200	200	0,02154	0,02286	0,02249	0,39960	0,43334	0,42388	0,41894
24	325	200	250	0,02332	0,02490	0,02448	0,44509	0,48547	0,47474	0,46843
25	325	250	150	0,02226	0,02183	0,02234	0,41800	0,40689	0,42005	0,41498
26	325	250	200	0,02478	0,02339	0,02345	0,48240	0,44675	0,44841	0,45919
27	325	250	250	0,02717	0,02846	0,02726	0,54335	0,57645	0,54578	0,55519

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

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

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

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



C. LAMPIRAN GAMBAR



Gambar C.1 Bahan rangka (ST-37)



Gambar C.2 Pengukuran bahan (ST-37)



Gambar C.3 Pemotongan bahan (ST-37)



Gambar C.4 Pengelasan rangka



Gambar C.5 Pengelasan *part* alat



Gambar C.6 Penghalusan rangka



Gambar C.7 Percobaan alat



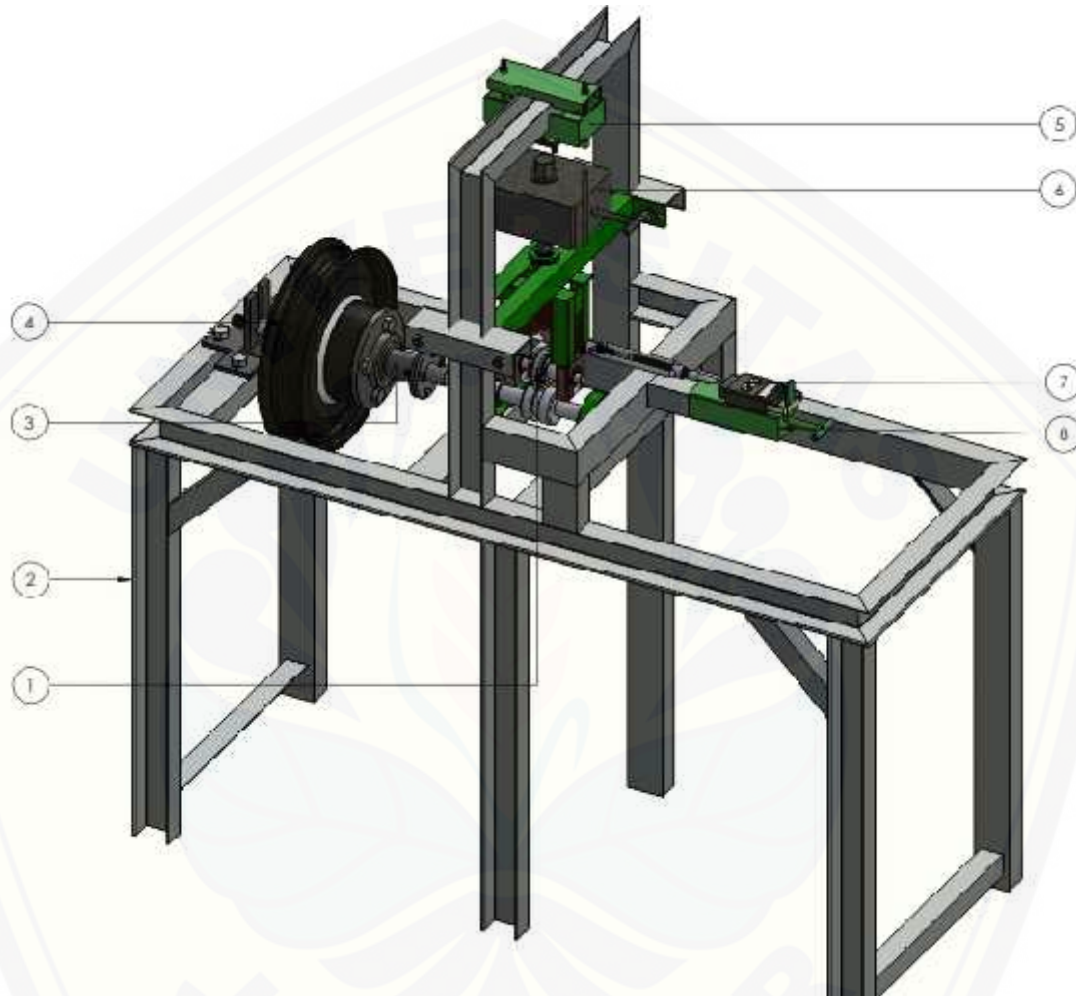
Gambar C.8 Penyetelan beban aksial



Gambar C.9 Penyetelan penekan beban radial

SOP (Standart Operating Procedures)

Alat Uji Bantalan Untuk Mengetahui Nilai *Rolling Resistance* Mobil Listrik Titen



Gambar. Desain Alat Uji Bearing

Keterangan :

1. *Test bearing*
2. Rangka Utama
3. Kopel poros
4. Motor listrik BLDC
5. *Load cell 50 Kg*
6. Pengatur beban radial
7. Timbangan *load cell 50 Kg*
8. Eretan pengatur beban aksial

Berikut merupakan langkah atau prosedur mengoperasikan alat uji *bearing*:

1. Memasang bantalan yang akan diuji pada posisi pengujian. Ada tiga tipe bantalan yang akan dijadikan eksperimen yaitu : 6002, 6202, 6302.
2. Memasang timbangan *load cell* pada alat uji sebagai pengukur nilai *rolling resistance* bantalan.
3. Putar poros pada masing-masing kecepatan 295 rpm, 310 rpm, 325 rpm tanpa ada pembebanan. Kemudian catat nilai yang terukur pada *load cell* (F_{t0}) untuk masing-masing level kecepatan. Nilai tersebut merupakan gaya rugi alat (F_{pf}) digunakan sebagai pengurangan (F_{t1}) untuk menghitung gaya *rolling resistance* (F_r).



Gambar Pengukuran gaya rugi pada setiap level kecepatan bantalan.

Mulai melakukan eksperimen dengan menyalakan motor listrik dan mengatur kecepatan putar sesuai nilai level standar yang sudah ditetapkan sampai konstan. Misal, eksperimen pertama pada level kecepatan 295 rpm.

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



Gambar Mekanisme pengatur beban radial bantalan

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



Gambar Mekanisme pengatur beban aksial bantalan

6. Amati nilai yang terukur pada timbangan *load cell* 200gr. Nilai tersebut menunjukkan gaya *rolling resistance* (F_{t1}) bantalan .

7. Ulangi langkah (1) sampai (7) dengan merubah nilai variable kecepatan putar, beban radial, dan beban aksial sesuai dengan kombinasi level.
8. Lakukan langkah (1) sampai (8) pada tiga tipe bantalan yang dijadikan objek pengujian yaitu 6002, 6202, dan 6302.



Teknik Perawatan / Pemeliharaan

Alat Uji *Bearing*

Perawatan / pemeliharaan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan secara berulang-ulang (*continue*) dengan tujuan agar peralatan selalu memiliki kondisi yang sama dengan kondisi awalnya (selalu dalam kondisi baik).

Berikut merupakan teknik perawatan / pemeliharaan alat uji bantalan, yakni;

1. Setelah menggunakan alat uji *bearing* ini sebaiknya dicek kembali dan dibersihkan dengan bensin dan diberi pelumas pada bagian rumah bantalan agar tidak berkarat dan tetap terjaga;
2. Cek kondisi kekencangan baut dan mur tiap 1 atau 2 kali dalam sebulan. Jika ditemukan kerusakan maka segeralah diganti;
3. Cek kondisi bantalan tiap 3 bulan sekali. Apabila terjadi putaran yang susah atau berat pada poros maka tambahkan pelumas pada bantalan agar putaran poros halus dan ringan;
4. Cek kondisi dari semua alat digital yang digunakan, bila terjadi suatu kesalahan atau kurang akurat, maka segeralah melakukan pengkalibrasian.