



**PENGARUH MATERIAL *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING*
TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

SKRIPSI

Oleh

Agung Cahyo Raharjo

NIM 171910101118

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PENGARUH MATERIAL *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING*
TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

SKRIPSI

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

Oleh

Agung Cahyo Raharjo
NIM. 171910101118

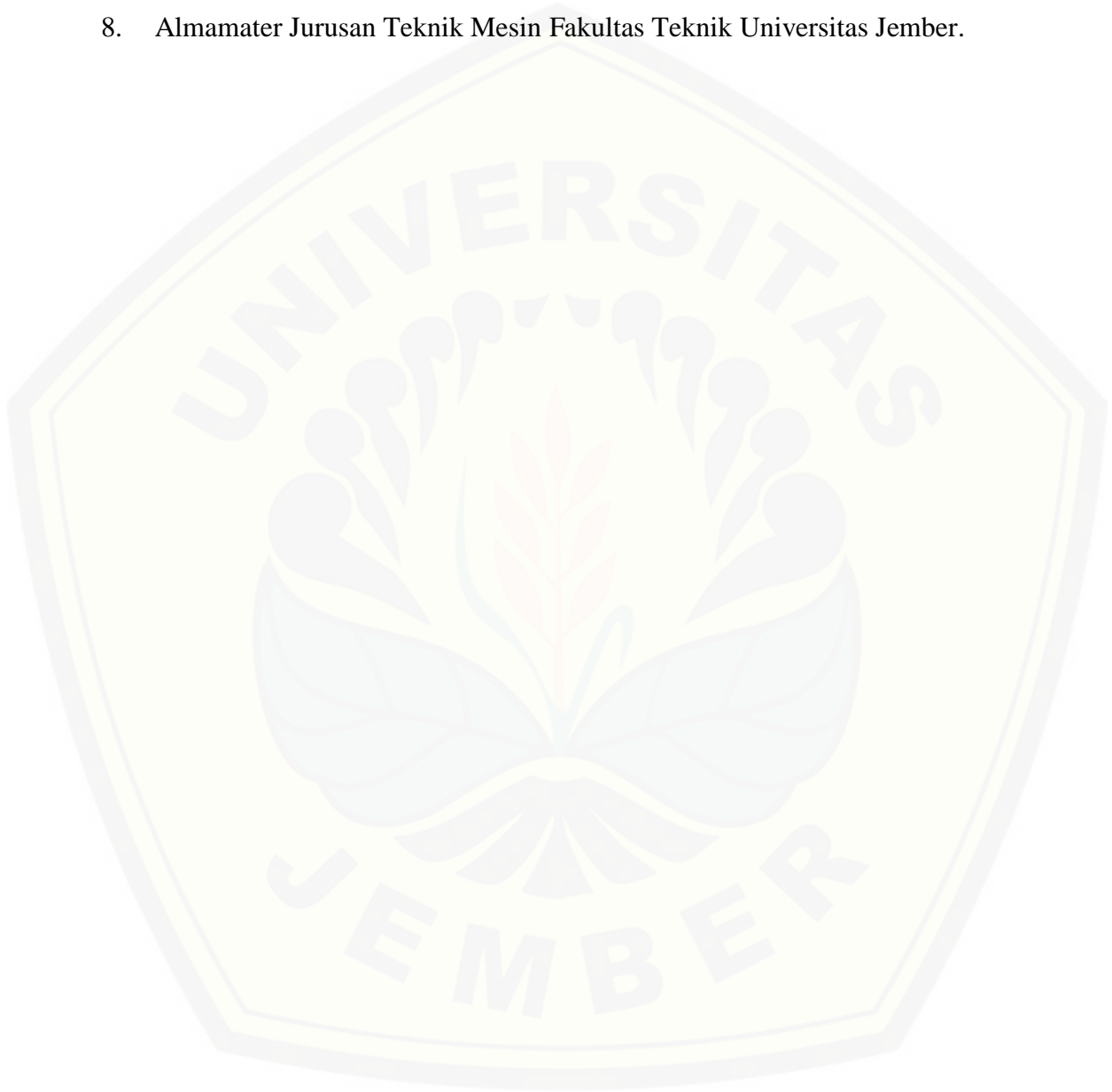
**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT, atas segala limpahan karunia dan rahmat-Nya yang teramat besar;
2. Nabi Muhammad SAW, yang menjadi panutan dalam menjalani hidup sebagai bekal kehidupan akhirat;
3. Ibu Sri Suryani, Bapak Sujarwo, adikku Anjas Tirto Wibowo dan Azizahthus Soffitri 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;
4. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa menularkan ilmunya, semoga ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng selaku Dosen Pembimbing Utama, bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W., S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang selalu memberikan saran dan arahan yang sangat membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T selaku Dosen Penguji Utama dan ibu Rika Dwi H. Q, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan saran dan arahan menuju kearah yang benar dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Guru-guru TK, SD ,SMP, MA sampai Perguruan Tinggi, dosen dan seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah menjadi tempat menimba ilmu dan telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran;
6. Saudara Teknik Mesin DIII dan S1 angkatan 2014, saudara alih jenjang Teknik Mesin Unej 2017 yang telah memberikan do'a, semangat, dukungan, ide dan kritikan;

7. Keluarga Besar PSM Fakultas Teknik dan Tim Mobil Listrik Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan dukungan dan motivasi;
8. Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Agung Cahyo Raharjo

NIM : 171910101118

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH MATERIAL *SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARING* TERHADAP *ROLLING RESISTANCE*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab 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 mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Januari 2019

Yang menyatakan,

Agung Cahyo Raharjo

NIM 171910101118

HALAMAN PEMBIMBINGAN

SKRIPSI

**PENGARUH MATERIAL *SINGLE ROW DEEP GROVE BALL BEARING*
TERHADAP *ROLLING RESISTANCE***

Oleh

Agung Cahyo Raharjo

NIM 171910101118

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W., S.T., M.Eng.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Pengaruh Material *Single Row Deep Groove Ball Bearing* Terhadap *Rolling Resistance*" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

hari, tanggal : Rabu, 16 Januari 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng

Dr. Robertoes Koekoeh K. W, S.T., M.Eng.

NIP. 196501202001121001

NIP. 196707081994121001

Penguji

Penguji I,

Penguji II,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T

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

NIP 197002281997021001

NIP 760014642

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M

NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Material *Single Row Deep Groove Ball Bearing* Terhadap *Rolling Resistance*; Agung Cahyo Raharjo, 171910101118; 2019; 74 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

Penelitian ini difokuskan kepada variasi jenis material *single row deep groove ball bearing* terhadap *rolling resistance*. Penelitian ini menggunakan variasi putaran senilai 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm dan variasi beban senilai 165 Newton, 177 Newton, 207 Newton. Serta variasi jenis material *bearing* yaitu *hybrid* (tipe 6000 dan 6200) dan *full ceramic* (6000 dan 6200).

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perancangan Mekanika Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan November 2018 sampai bulan Januari 2019. Penelitian ini menggunakan motor AC 1 *phase* dengan putaran maksimal 2800 rpm. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental. Pengambilan data dilaksanakan menggunakan kombinasi tiga beban dan tiga putaran.

Dalam hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil beban dan putaran maka akan semakin rendah nilai *rolling resistance*. Jenis material *bearing hybrid* memiliki nilai *rolling resistance* yang lebih rendah dari *bearing full ceramic*. hal ini disebabkan oleh pengaruh sifat material yang terkandung dalam material *bearing*.

SUMMARY

The Effect of Single Row Deep Groove Ball Bearing Materials Againsts Rolling Resistance; Agung Cahyo Raharjo, 171910101118; 2019; 74 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering University of Jember.

Rolling resistance on a bearing is resistance to a rolling element that works on a bearing because of friction between two rotating or rolling surfaces. Roll performance (rolling resistance) are all styles the outside opposite to the direction of motion of the ongoing movement. Roll performance (rolling resistance) can be referred to as the amount of traction are required for each ton vehicle moving. Basically Rolling resistance is a moment that is used by the rolling element on the bearing to counteract the direction of movement, equivalent to what is needed to move the bearing.

Research this focused to variation type of single row material deep groove ball bearing against rolling resistance . Research this use variation round worth 290 rpm, 310 rpm, 330 rpm and variations load worth 165 Newton, 177 Newton, 207 Newton. As well as variations type of bearing material that is hybrid (type 6000 and 6200) and full ceramic (6000 and 6200).

Research n this is done in Laboratory Design Mechanics University Faculty of Engineering Jember in November 2018 to month January 2019. Research this use 1 phase AC motor with round maximum of 2800 rpm. Research this do use it method experimental . Data retrieval is carried out use combination three load and three round.

In the results research this could concluded that more and more small load and rotation then will more and more low value rolling resistance . Type of hybrid bearing material has value better rolling resistance low from bearing full ceramic . this caused by influence material properties contained in bearing material.

PRAKATA

Alhamdulillah Robbil ‘Alamiin, puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh material *single row deep groove ball bearing* terhadap *rolling resistance*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis berkeinginan untuk menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Ir. Franciscus Xaverius Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W., S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam skripsi ini;
5. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Ibu Rika Dwi H. Q, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
7. Bapak Dedy Dwi Laksana , S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama kuliah;
8. Bapak Muh. Nurkoyim, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tim Mobil Listrik TITEN Universitas Jember;

9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu, bimbingan, pengorbanan, saran dan kritik kepada penulis;
10. Ibu Sri Suryani dan Bapak Sujarwo yang telah menjadi orang tua yang sangat baik dalam mendidik, memberi nasehat demi kehidupan penulis yang lebih baik, selalu memberikan kasih sayang, perhatian, materi, serta doa yang selalu beliau haturkan setiap saat untuk penulis dan keluarga;;
11. Adik kandung saya Anjas Tirto Wibowo dan Azizahthus Soffitri yang telah memberikan do'a dan semangat untuk penulis;
12. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa DIII dan S1 Teknik Mesin 2014 yang selalu memberi dukungan dan saran kepada penulis;
13. Teman-teman seperjuangan Mahasiswa Alih Jenjang Teknik Mesin 2017, Zhahra, Dheo, Arif, Wira, Sapto, Shinta, Jihan, Syatar, Fikri, Alex, Raka, Yufi, dan Joni yang selalu memberi dukungan dan saran kepada penulis;
14. Tim Mobil Listrik TITEN, Ihsan, Winagil, Helmi, Rizky, Iqbal, Apik, Arif, Yoga, Aji, Fitoyo, Mur, Ayik, Fadea, Arya, Kharis, Faza yang telah memberikan banyak pembelajaran dan pengalaman bagi penulis;
15. Teman-teman Paduan Suara Mahasiswa Teknik Universitas Jember;
16. Kelompok penelitian yaitu Zhahra Hanif Sholiha, M. Ihsan Prakoso, Shinta Arisanti Dewi, Alex Tresa elsyamba, dan Rizqi Abdus Syatar yang telah membantu dalam penelitian ini;
17. Teman-teman KKN 259 Kalibagor yang telah memberikan pengalaman hidup di desa dan motivasi bagi penulis;
18. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.

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

Jember, 16 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

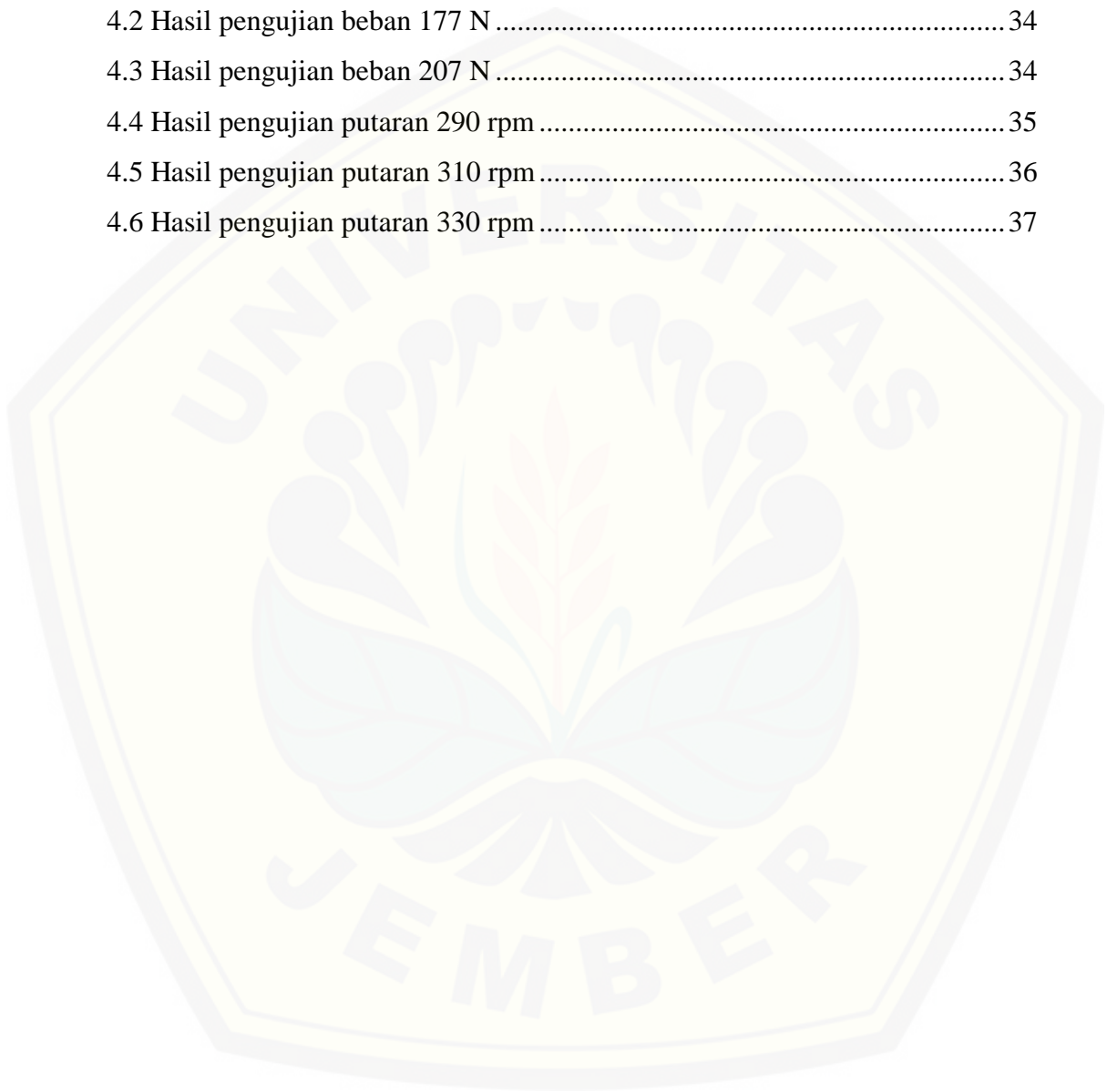
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN MOTO.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Bearing	5
2.1.1 Fungsi <i>Bearing</i>	5
2.1.2 Klasifikasi <i>Bearing</i>	6
2.1.3 Perbandingan antara Bantalan Luncur dan Bantalan Gelinding.....	7
2.1.4 <i>Single Row Deep Groove Ball Bearing</i>	9
2.1.5 Kode Spesifikasi <i>Bearing</i>	10

2.1.6 Material <i>Bearing</i>	12
2.1.7 Perhitungan Beban yang Terjadi Pada <i>Bearing</i>	14
2.1.8 Beban radial	15
2.2 Rolling Bearing	15
2.2.1 Pengertian <i>Rolling resistance</i>	16
2.3 Kecepatan Sudut Angular	17
2.4 Momen Inersia Bantalan	17
2.5 Perhitungan <i>Rolling resistance</i>	18
2.6 Diagram <i>Fishbone</i>	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Waktu dan Tempat	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	22
3.3 Variabel Penelitian	22
3.3.1 Variabel Bebas	22
3.3.2 Variabel Terikat	22
3.4 Prosedur Pengujian	23
3.4.1 Metode Pengujian	23
3.4.2 Langkah Pengujian	23
3.5 Pengambilan Data Pengujian	26
3.6 Analisa Penelitian	28
3.7 Diagram Alir Penelitian	30
3.7.1 Alur Penelitian	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Pengujian <i>Rolling resistance</i>	32
4.2 Hasil Pengujian <i>bearing</i> Dengan Variasi Jenis Material	33
4.2.1 Hasil pengujian beban 165 N	33
4.2.2 Hasil pengujian beban 177 N	34
4.2.3 Hasil pengujian beban 207 N	34
4.2.4 Hasil pengujian putaran 290 rpm	35

4.2.5 Hasil Pengujian Putaran 310 rpm	36
4.2.6 Hasil Pengujian Putaran 330 rpm	37
4.3 Pembahasan Pengujian bearing Dengan Variasi Jenis	
Material	37
4.3.1 Pembahasan Pengujian Beban Terhadap Koefisien	
<i>Rolling resistance</i>	37
4.3.2 Pembahasan Pengujian Beban Terhadap Nilai Gaya	
<i>Rolling resistance</i> (Fr)	39
4.3.3 Pembahasan Pengujian Putaran Terhadap Koefisien	
<i>Rolling resistance</i>	40
4.3.4 Pembahasan Pengujian Putaran Terhadap Nilai Gaya	
<i>Rolling Resistance</i>	42
4.4 Pengaruh Jenis Material Terhadap Rolling Resistance	44
4.4.1 Analisa Material <i>Bearing Hybrid</i>	48
4.4.2 Analisa Material <i>Bearing Full Ceramic</i>	49
BAB 5. PENUTUP	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Hasil pengujian beban 165 N	33
4.2 Hasil pengujian beban 177 N	34
4.3 Hasil pengujian beban 207 N	34
4.4 Hasil pengujian putaran 290 rpm	35
4.5 Hasil pengujian putaran 310 rpm	36
4.6 Hasil pengujian putaran 330 rpm	37



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Arah beban pada <i>bearing</i>	6
2.2 <i>Slifing</i> antara bantalan luncur dan bantalan gelinding	7
2.3 <i>Sleeve bearing</i>	7
2.4 <i>Thrust bearing</i>	8
2.5 Klasifikasi <i>rolling bearing</i>	9
2.6 <i>Single row deep groove ball bearing</i>	10
2.7 Sistem kode klasifikasi bantalan	10
2.8 Jenis <i>seal single row deep ball bearing</i>	12
2.9 (a) <i>Stamped metal cage</i> , (b) <i>pin type cage</i> , (c) <i>polymer cage</i> , (d) <i>machine metal cage</i>	12
2.11 Karakteristik <i>ceramic bearing</i>	14
2.12 Beban radial pada bantalan	15
2.13 Fenomena <i>rollng resistance</i> pada bantalan	16
2.14 FBD elemen pada <i>Rolling resistance</i>	17
2.15 Bantalan pada poros kendaraan.....	17
2.16 Bentuk geomteri bantalan silinder berongga.....	18
2.17 Ilustrasi flywheel pada bantalan.....	19
2.18 Identifikasi penyebab utama yang mempengaruhi.....	22
3.1 Alat uji <i>Rolling resistance</i> bantalan 24	24
3.2 Analisa <i>fishbone diagram</i>	28
3.3 Identifikasi akibat yang akan dianalisis	29
3.4 Identifikasi penyebab-penyebab utama.....	29
3.4 Diagram Alir Penelitian	30
4.1 Grafik pada beban 165 N terhadap koefisien <i>rolling resistance</i> (Cr).....	39
4.2 Grafik pada beban 177 N terhadap koefisien <i>rolling resistance</i> (Cr).....	39
4.3 Grafik pada beban 207 N terhadap koefisien <i>rolling resistance</i> (Cr).....	40
4.4 Grafik pada beban 165 N terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).....	40
4.5 Grafik pada beban 177 N terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).....	41

4.6 Grafik pada beban 207 N terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).....	41
4.7 Grafik pada putaran 290 rpm terhadap koefisien <i>rolling resistance</i> (Cr)..	42
4.8 Grafik pada putaran 310 rpm terhadap koefisien <i>rolling resistance</i> (Cr)..	42
4.9 Grafik pada putaran 330 rpm terhadap koefisien <i>rolling resistance</i> (Cr)..	43
4.10 Grafik pada putaran 290 rpm terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).	43
4.11 Grafik pada putaran 310 rpm terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).	44
4.12 Grafik pada putaran 330 rpm terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).	44
4.13 Grafik pada putaran 290 rpm terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).	47
4.14 Grafik pada beban 165 N terhadap nilai gaya <i>rolling resistance</i> (Fr).....	48
4.15 Grafik momen inersia <i>bearing</i> terhadap gaya <i>rolling resistance</i>	48
C.1 Pembuatan rangka alat uji	72
C.2 Alat uji <i>rolling resistance</i> untuk <i>bearing</i>	72
C.3 Set putaran 290 rpm.....	72
C.4 Set putaran 310 rpm.....	73
C.5 Set putaran 330 rpm.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A1. Data Hasi Penelitian.....	54
A.2 Data spesifikasi <i>flywheel</i> dan <i>bearing</i>	63
B. 1 Perhitungan Kecepatan Sudut (ω).	63
B. 2 Perhitungan koefisien <i>rolling resistance</i> (C_r).....	64
B. 3. Perhitungan gaya <i>rolling resistance</i> (F_r).....	68
D. 1. Spesifikasi <i>hybrid bearing</i>	75
D. 2. Spesifikasi <i>single row deep groove ball bearing</i>	76

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 218.869 Kilo Liter. Pola konsumsi BBM di Indonesia yang tinggi, merupakan salah satu akibat dari kebiasaan masyarakat Indonesia yang mengkonsumtif kendaraan bermotor (Badan Pusat Statistik, 2015). Pada tahun 2016 produksi kendaraan bermotor di Indonesia tercatat 129.281.079 unit (Badan Pusat Statistik, 2016).

Presiden Republik Indonesia pada forum G-20 di Pittsburgh, USA tahun 2009 dan pada COP 15 di Copenhagen menyampaikan bahwa Indonesia dapat menurunkan emisi Gas Rumah Kaca sebesar 26% sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) dan bahkan bisa mencapai sebesar 41% dengan bantuan negara maju hingga tahun 2020. Salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah mengurangi pemakaian BBM untuk transportasi dan menggantikannya dengan energi listrik (Peraturan Presiden Republik Indonesia, 2011).

Mobil listrik yaitu mobil yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai. Penggunaan mobil listrik sangat efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan ramah lingkungan (Purnomo *et al*, 2017). Selain kendaraan yang ditawarkan harus aman, nyaman, dan efisien. Selain itu dibutuhkan kendaraan masa masa depan yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polusi karena efek gas buang. Semakin meningkatnya populasi udara memunculkan inovasi untuk mengembangkan penggunaan energi listrik dalam sistem transportasi. Dalam mobil listrik banyak aspek yang perlu dikembangkan, salah satunya adalah efisiensi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Juhala (2014), menyatakan bahwa efisiensi pada kendaraan dipengaruhi oleh tiga faktor diantaranya: berat kendaraan (*mass*), hambatan gelinding (*rolling resistance*), dan hambatan aerodinamis (*aerodynamic resistance*). Faktor lain yang memperengaruhi yaitu mesin

kendaraan, sistem transmisi, ban, bantalan (*bearing*), serta kebiasaan mengemudi. Dalam siklus mengemudi kendaraan yang dilakukan pada *New European Driving Cycle* (NEDC), menunjukkan setiap kenaikan 10% dari bobot kendaraan akan menaikkan 4% konsumsi energi, setiap kenaikan 10% dari *rolling resistance* kendaraan akan menaikkan 1,8% konsumsi energi dan kenaikan 10% dari *aerodynamic resistance* kendaraan akan menaikkan 1,5% konsumsi energi. Dari siklus mengemudi, bobot kendaraan menjadi pengaruh yang paling besar pada kenaikan konsumsi energi/ selain bobot kendaraan, *rolling resistance* juga memiliki dampak terhadap siklus kenaikan konsumsi energi. Nilai *rolling resistance* dipengaruhi oleh komponen-komponen kendaraan yang berputar salah satunya adalah bantalan (*bearing*). *Bearing* (bantalan) merupakan bagian dari mesin yang sangat penting yang berfungsi menumpu poros yang berputar maupun yang bergerak bolak-balik. Setiap benda yang berputar pasti akan menimbulkan gesekan.

Setelah mengamati dan mempelajari dari berbagai sumber, maka dapat ditarik sebuah penjelasan bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *rolling resistance* pada *bearing* yaitu jenis material bantalan. Maka dari itu perlunya dilakukan penelitian yang lebih mendalam tentang permasalahan ini dan penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh material *single row deep groove bearing* terhadap *rolling resistance*. Dimana dengan mengetahui spesifikasi *rolling resistance* pada material bearing, akan memudahkan penggunaan untuk memilih material bantalan yang cocok sesuai kebutuhan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan di atas, masih terdapat masalah pada *rolling resistance* Mobil Listrik Titen karena menggunakan *single row deep groove ball bearing* dengan jenis material *steel* yang memiliki nilai *rolling resistance* yang besar yakni 0,9 – 1,2 *Newton*. Perlu penelitian untuk membuat nilai *rolling resistance* yang lebih baik yakni yang mempunyai nilai *rolling resistance* mendekati nol atau kurang dari nilai 0,9.

1.3 Batasan Masalah

Agar tidak meluasnya permasalahan yang akan dibahas maka perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah dalam penulisan laporan ini, yaitu sebagai berikut:

1. Tipe bantalan adalah *single row deep groove ball bearing* (6000 dan 6200);
2. *Clearance* bantalan yang digunakan adalah C3;
3. Bahan bantalan yang digunakan sebagai pengujian yaitu jenis *full* keramik dan *hybrid*;
4. Beban yang digunakan pengujian sebesar 165 N, 177 N, dan 207 N;
5. Kecepatan putaran yang digunakan pada pengujian yaitu 290 rpm, 310 rpm, dan 330 rpm;
6. Getaran, cacat produk, serta biaya pemakaian bantalan diabaikan;
7. Suhu pada pengujian adalah suhu ruangan;
8. Bantalan tanpa penambahan pelumas atau kondisi seperti dari pabrikan;
9. Transmisi yang digunakan sebagai penyalur dari alat uji ke motor dianggap sempurna;
10. Motor listrik yang digunakan adalah motor listrik AC dengan spesifikasi 0,75 kW, 1 HP, 2850 rpm, 1 phase, 220 V.

1.4 Tujuan

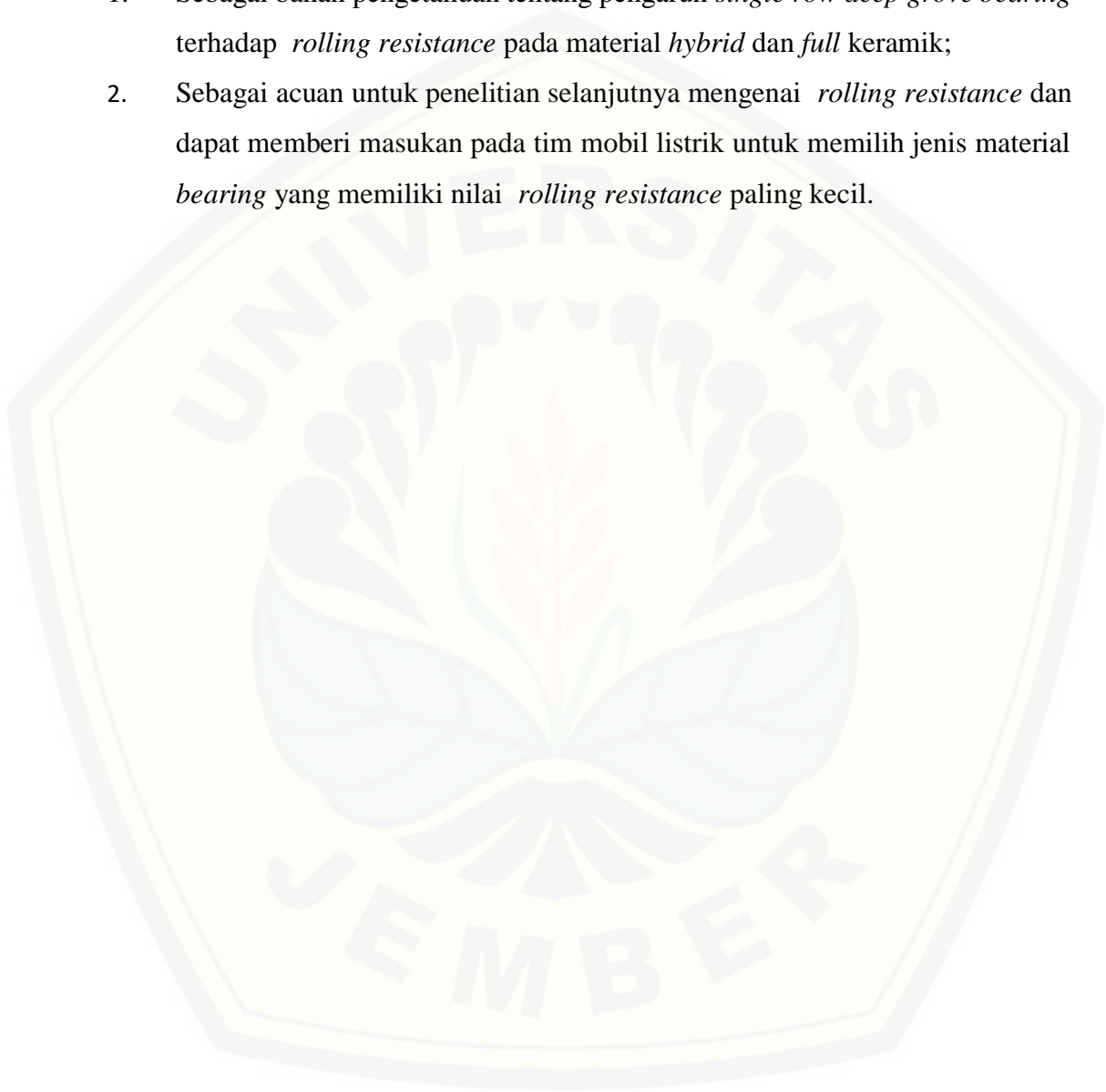
Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh jenis material *single row deep groove ball bearing* diantara 2 material yaitu *hybrid* dan *full* keramik terhadap *rolling resistance*;
2. Untuk mengetahui jenis material *hybrid* dan *full* keramik *single row deep groove ball bearing* yang memiliki nilai *rolling resistance* yang lebih kecil.

1.5 Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan pengetahuan tentang pengaruh *single row deep groove bearing* terhadap *rolling resistance* pada material *hybrid* dan *full* keramik;
2. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya mengenai *rolling resistance* dan dapat memberi masukan pada tim mobil listrik untuk memilih jenis material *bearing* yang memiliki nilai *rolling resistance* paling kecil.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Bearing*

Bantalan adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya hanya dapat bekerja dengan baik (Sularso dan Suga, 1997).

2.1.1 Fungsi *Bearing*

Bantalan adalah bagian mesin dimana bagian-bagian utama yang berputar atau bergeser. Bantalan memiliki tiga fungsi utama (Sularso dan Suga, 1997):

a. Mengurangi gesekan

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

b. Menahan beban

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

- 1) Beban yang diterima oleh poros dan diteruskan ke *bearng*;
- 2) Gaya berat poros sendiri;

3) Gaya tambahan yang tercipta karena gerak poros

c. Mengatur posisi elemen yang bergerak

Fungsi *bearing* yang ketiga adalah mengatur posisi elemen yang bergerak, atau menahan agar bagian yang bergerak tetap pada posisinya. Selain harus mampu menahan agar tidak terjadi pergerakan ke satu arah atau lebih, bantalan harus memungkinkan terjadinya pergerakan ke arah yang lain.

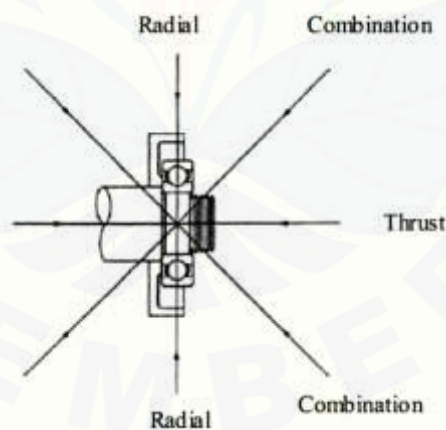
2.1.2 Klasifikasi *Bearing*

Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sularso dan Suga, 1997):

a. Berdasarkan arah beban

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

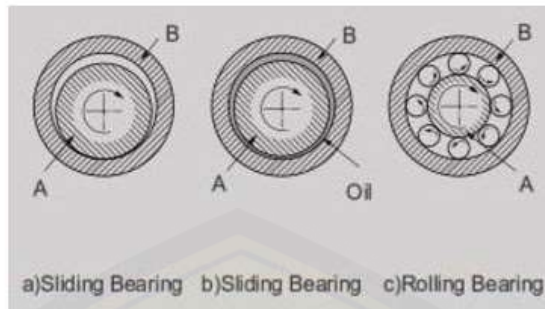
- 1) Bantalan radial merupakan bantalan yang menahan beban secara tegak lurus terhadap sumbu poros.
- 2) Bantalan aksial merupakan bantalan yang menumpu beban sejajar dengan sumbu poros.
- 3) Bantalan yang menumpu beban secara radial dan aksial (beban tangensial)



Gambar 2.1 Arah beban pada *bearing* (Hermawan, 2012)

b. Berdasarkan konstruksi dan mekanismenya

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



Gambar 2.2 *Sliding bearing and rolling bearing* (Hanwha, 2001)

2.1.3 Perbandingan antara Bantalan Luncur dan Bantalan Gelinding

a. Bantalan Luncur (slider bearing)

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

- 1) *Sleeve bearing* yang bentuknya silindris dan menahan beban radial yang tegak lurus pada sumbu poros.



Gambar 2.3 *Sleeve bearing* (Hermawan, 2012)

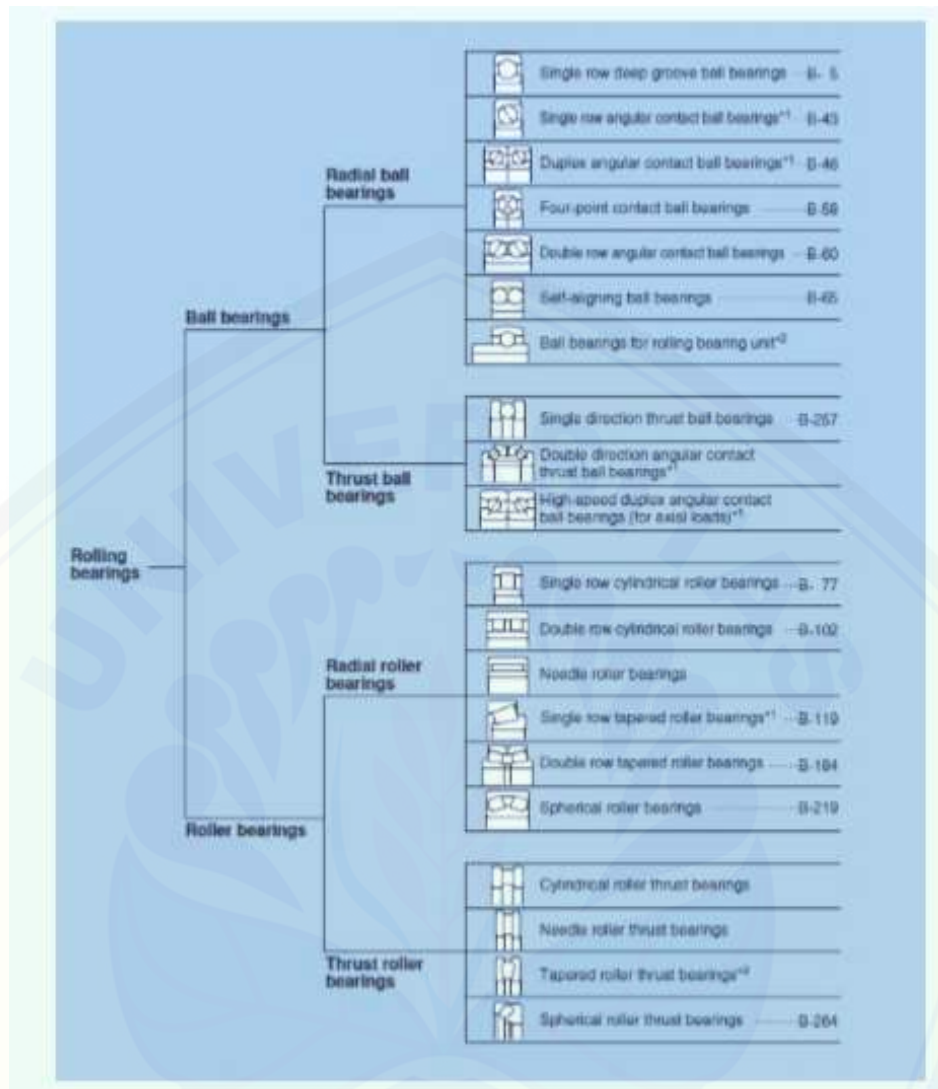


Gambar 2.4 *Thrust bearing* (Hermawan, 2012)

1) Bantalan gelinding

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

Pada umumnya harga bantalan ini lebih mahal dibandingkan bantalan luncur. Untuk menekan biaya pembuatan serta memudahkan pemakaian, bantalan gelinding diproduksi menurut standar dalam berbagai ukuran dan bentuk. Keunggulan bantalan ini adalah pada gesekannya yang sangat rendah. Pelumasannya sangat sederhana, cukup dengan gemuk, bahkan pada macam yang memakai *seal* sendiri tak perlu pelumasan lagi. Bantalan ini memiliki ketelitian sangat tinggi, namun karena adanya gerakan elemen gelinding, pada putaran tinggi bantalan ini agak gaduh dibandingkan dengan bantalan luncur. Seperti diperlihatkan dalam Gambar, elemen gelinding seperti bola atau rol, dipasang di antara cincin luar dan cincin dalam (Sularso dan Suga, 1997).



Gambar 2.5 Klasifikasi *rolling bearing* (SKF Group, 2018)

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

2.1.4 *Single Row Deep Grove Ball Bearing*

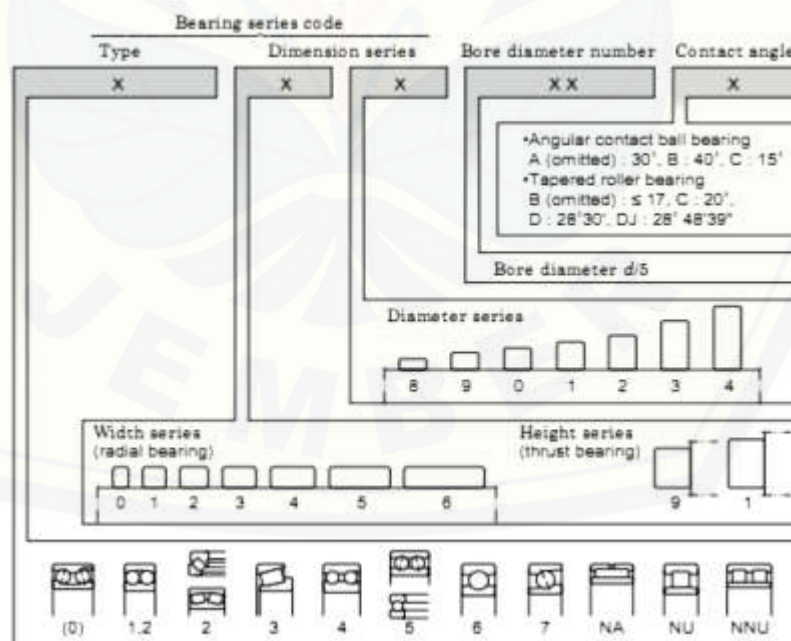
Bearing ini mempunyai alur dalam pada kedua cincinnya. Karena memiliki alur, maka jenis ini mempunyai kapasitas dapat menahan beban secara ideal pada arah radial dan aksial. Maksud dari beban radial adalah beban yang tegak lurus terhadap sumbu poros, sedangkan beban aksial adalah beban yang searah sumbu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



Gambar 2.6 Single row deep groove ball bearing (Rizal, 2013)

2.1.5 Kode Spesifikasi Bearing

Dalam melakukan pemesanan atau pembelian bantalan perlu diperhatikan adalah kode bantalan tersebut yang gunanya membantu dalam pemilihan bantalan yang sesuai. Pada bantalan diberikan pengkodean yang pada terbagi menjadi dua yaitu kode dasar (basic code) dan kode tambahan (kode keterangan). Berikut merupakan sistem pengkodean dalam bantalan



Gambar 2.7 Sistem kode klasifikasi bantalan (SKF Group, 2018)

Untuk keterangan pada gambar 2.7 adalah sebagai berikut :

- 1) (0) merupakan sudut kontak ball bearing;

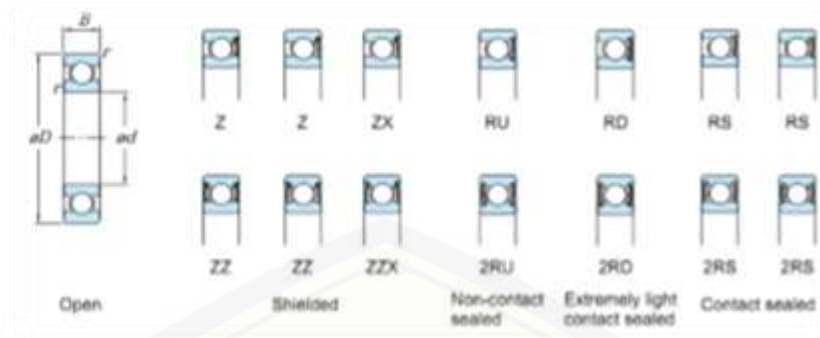
- 2) 1 merupakan Self – aligning ball bearing;
- 3) 2 merupakan Self aligning ball bearing, spherical roller bearing dan spherical thrust roller bearing;
- 4) 3 merupakan tapered roller bearing ;
- 5) 4 merupakan Deep groove ball bearing (double row);
- 6) 5 merupakan thrust ball bearing, Angular contact ball bearing (double row);
- 7) 6 merupakan Deep groove ball bearing (single row);
- 8) 7 adalah Angular contact ball bearing (single row);
- 9) NA Needle roller bearing (single row, double row)
- 10) N,NU Cylindrical roller bearing (single row) ;
- 11) NN, NNU Cylindrical roller bearing (double row)

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

- 1) 6203ZZ C3 P6
 - a) Dimana : Kode pertama adalah angka 6 yang menyatakan bawa tipe bantalan tersebut adalah single row deep groove ball bearing.
 - b) Kode kedua menyatakan seri bantalan untuk menyatakan ketahanan bantalan tersebut. Seri penomeran adalah mulai dari ketahan paling ringan sampai paling berat.
 - c) Untuk kode 0 sampai dengan 3 merupakan diameter bore bantalan
 - d) Kode ZZ menyatakan tipe jenis penutup bantalan ataupun bahan bantalan.
 - e) Kode C3 merupakan kode untuk menyatakan kelonggaran pada seal bantalan.
 - f) Kode P6 adala kode untuk menyatakan kelas ketelitian 6.

Bantalan *single row deep groove ball bearing* memiliki berbagai macam bentuk *seal*, yang gunanya sebagai pelindung air terhindar dari kotoran.

Penggunaan



Gambar 2.8 Jenis seal single row deep ball bearing (SKF Group, 2018)

2.1.6 Material Bearing

Ada beberapa perbedaan material yang digunakan pada bantalan. Antara lain dari materia cage, ball, inner race, dan outer race. Cage berpusat pada elemen bergulir yang memungkinkan pelumas ke bantalan dengan mudah. Cage berperan sebagai penopang ketika bantalan mengalami kecepatan ringgi, tingkat getaran tinggi atau gaya inersia yang berasal dari pergerakan seluruh bantalan.

Jenis cage sebagai berikut :



Gambar 2.9 (a) Stamped metal cage, (b) pin type cage, (c) polymer cage, (d) machine metal cage (Koyo, 2004)

a. Stamped metal cage

Stamped metal cage terbuat dengan cara stamping. Material ini memiliki karakter yang ringan dan tahan suhu tinggi.

b. Pin type cage

Pin type cage digunakan untuk roller bearing yang besar. Cage ini memiliki berat yang relatif rendah.

c. *Polymer cage*

Cage ini terbuat dari poliamida 66 (PA66). Sifat geser yang baik dari *cage* dan memungkinkan sedikit gesekan, kecepatan tinggi dan mengurangi resiko kerusakan walau pun menggunakan pelumasan yang tidak baik.

d. *Machine metal cage*

Machine metal cage dari kuningan atau baja paduan ringan. Dan memiliki kecepatan tinggi, suhu, percepatan, dan getaran.

Jenis material bantalan sendiri yang digunakan dalam penelitian ini ada 2, yaitu :

1. *Hybrid Bearing*

Bantalan *hybrid* terbuat dari cincin baja bagian dalam dan luar dengan elemen penggulung *phenolic resin* sebagai pengganti baja. Kecepatan mesin meingkat karena produksi menuntut efisiensi dan keandalan maksimum dengan kualitas *output* tertinggi. Akibatnya beban dan lingkungan operasional menjadi lebih baik.

Hybrid bearings



Gambar 2.10 *hybrid bearing single row deep groove ball bearing* (Koyo, 2004)

2. *Ceramic Bearing*

Bantalan keramik digunakan karena ketahanannya terhadap panas, material keramik telah digunakan untuk aplikasi di mana suhu melebihi standar baja bantalan. Bantalan keramik tidak mengalami masalah dalam bereaksi dengan bahan korosif dan tidak melepas partikel atau bereaksi dengan bahan kimia yang dihasilkan oleh produk berbahaya. Bantalan keramik dapat dikeringkan dan bebas

dari pelumasan tambahan sehingga tidak akan menguras mikrobiologi apa pun dan dapat dibersihkan lebih mudah dengan. Bantalan keramik menggunakan bola *Zirconia Oxide* (ZrO_2).

Ceramic Material		Silicon Nitride Si ₃ N ₄	Zirconia ZrO ₂	Silicon Carbide SiC
Property	Unit			
Density	g/cm ³	3.2	6.0	3.1
Linear expansion coefficient	K ⁻¹	3.2X10 ⁻⁶	10.5X10 ⁻⁶	3.9X10 ⁻⁶
Vickers hardness	HV	1 500	1 200	2 200
Module of longitudinal elasticity	GPa	320	220	380
Poisson's ratio		0.29	0.31	0.18
Three point bending strength	MPa	1 100	1 400	500
Fracture toughness	MPa · m ^{1/2}	6	5	4
Heat resistance (in atmospheric air)	°C	800	200	1 000 or higher
Thermal shock resistance	°C	750 or higher	350	350
Coefficient of thermal conductivity	W/(m · K)	20	3	70
Specific heat	J/(kg · K)	680	460	670

Property	Unit	Silicon Nitride Si ₃ N ₄	High Carbon Chromium Bearing Steel SUJ2	Advantages of Ceramic Bearings
Density	g/cm ³	3.2	7.8	Decrease in centrifugal force induced by rolling elements (balls or rollers) → Longer service life and reduced bearing temperature rises
Linear expansion coefficient	K ⁻¹	3.2X10 ⁻⁶	12.5X10 ⁻⁶	Decreased internal clearance change due to reduced bearing temperature rises → Lowered vibration and reduced preload changes
Vickers hardness	HV	1 500	750	Less deformation in rolling contact areas → Higher rigidity
Module of longitudinal elasticity	GPa	320	208	
Poisson's ratio		0.29	0.3	Retention of superior load carrying characteristics under high temperature
Heat resistance	°C	800	180	Useful in acid or alkaline solutions
Corrosion resistance		High	Low	Decreased rotational fluctuation in ferromagnetic field due to non-magnetization
Magnetism		Non-magnetic	Ferromagnetic	Prevents electrical pitting
Conductivity		insulator	conductor	Decrease in adhesion (or material transfer) due to oil film thinning in rolling contact areas
Bond		Covalent bond	Metallic bond	

Gambar 2.11 karakteristik *ceramic bearing* (Koyo, 2004)

2.1.7 Perhitungan Beban yang Terjadi Pada *Bearing*

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

2.1.8 Beban radial

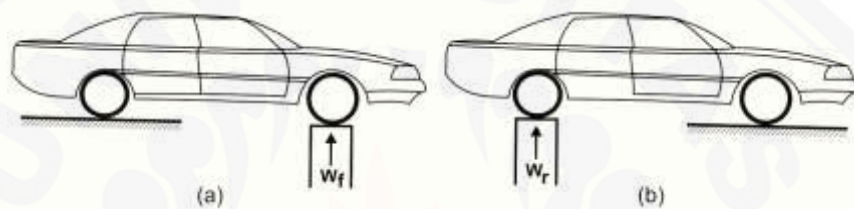
Beban radial bekerja tegak lurus terhadap sumbu poros bantalan. Pada penelitian yang akan dilakukan, beban radial ini diperoleh dari berat *flywheel* dan rumah bantalan.

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

Dimana :

W_r = Beban radial

W_f = Beban roda belakang



Gambar 2.12 Beban radial pada bantalan (Sutantra dan Sampurno, 2010)

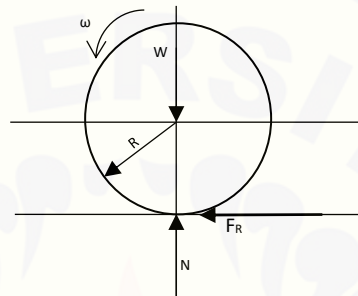
Beban aksial yang terjadi pada bantalan diperoleh dari hasil perhitungan gaya kesamping (gaya sentrifugal). Secara arah pembebanan, beban aksial merupakan beban yang bekerja searah dengan sumbu poros bantalan. pada kendaraan terjadi saat kendaraan mengalami beban dari samping atau beban yang searah dengan sumbu poros roda. Gerakan belok merupakan gerakan yang dapat menghasilkan beban aksial pada bantalan. Kondisi ideal dari kendaraan belok adalah disebut juga sebagai kondisi ackerman yaitu dimana pada semua roda tidak terjadi sudut slip, sehingga arah gerak roda sama dengan arah bidang putar dari roda.

2.2 *Rolling Resistance*

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

2.2.1 Pengertian *Rolling Resistance*

Pada dasarnya *rolling resistance* (F_r) adalah momen yang digunakan elemen *rolling* pada bantalan untuk melawan arah gerakan, setara dengan yang dibutuhkan untuk menggerakkan bantalan. Gambar 2.13 menunjukkan bahwa elemen bantalan mendapat gaya normal (N) sebesar beban yang ditumpu yang diasumsikan berat kendaraan (W), dan R adalah radius elemen bergulir dari bantalan yang dipengaruhi kecepatan sudut (ω).



Gambar 2.13 Fenomena *rolling resistance* pada bantalan (George, 1999)

$$F_r = C_r \cdot W \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- F_r : Gaya *rolling resistance* (N)
- C_r : Koefisien *rolling resistance*
- W : Berat kendaraan (N)
- R : Radius elemen bergulir (meter)
- ω : kecepatan sudut (rad/s)
- N : Gaya Normal (newton)

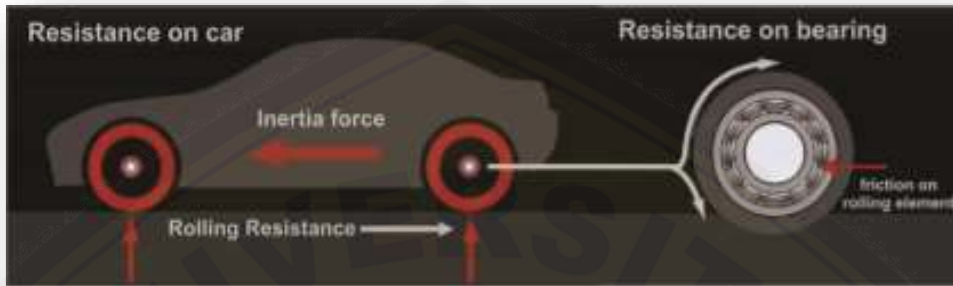
Gaya *rolling resistance* merupakan perhitungan dari nilai koefisien *rolling resistance* (C_r) yang terjadi pada elemen bantalan dengan beban (W) yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi pada *flywheel*.

$$W = m \cdot g \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

- W : Berat kendaraan (N)
- m : massa benda (kg)
- g : Gravitasi (9,8 m/s²)

Bantalan memiliki pengaruh terhadap *rolling resistance* yang terjadi pada poros kendaraan. *Rolling resistance* merupakan segala gaya-gaya luar yang berlawanan arah dengan arah gerak kendaraan yang berjalan. Gambar 2.14 merupakan posisi bantalan pada poros roda.



Gambar 2.14 Bantalan pada poros kendaraan (Sidharth das, 2014)

2.3 Kecepatan Sudut Anguler

Diketahui diameter roda, kemudian dapat di cari kelilingnya, sehingga bisa mendapatkan kecepatan sudut anguler:

$$K. \text{ roda} = \pi \times d \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

- Π : (3,14)
- D : diameter roda (m)
- K : Keliling roda (m)

Sehingga didapat rumus:

$$\omega = \frac{v}{r} \dots\dots\dots (2.5)$$

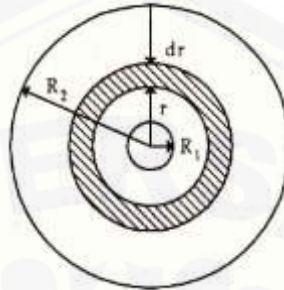
Dimana:

- ω : kecepatan sudut anguler (rad/s)
- v : kecepatan (m/s)
- r : Jarak sumbu benda/jari-jari benda (m)

2.4 Momen Inersia Bantalan

Momen Inersia pada bantalan dapat mempengaruhi gaya yang dibutuhkan untuk memutar bantalan. Momen inersia yang dimiliki suatu benda yang berputar

dapat dihitung dengan penjumlahan hasil kali massa benda dengan kuadrat jarak sumbu benda. Bentuk geometri dari benda berbentuk cincin dengan memiliki ketebalan dapat dihitung menggunakan rumus dari bentuk benda silinder berongga. Berikut penjelasan bentuk geometri dan bantalan untuk menghitung momen inersia yang dimilikinya (Wang, 2017).



Gambar 2.15 Bentuk geometri bantalan silinder berongga (Wang, 2017)

Gambar 2.15 merupakan asumsi pemodelan rumus momen inersia pada bantalan. Sesuai dengan asumsi diatas maka rumus momen inersia (I) yang digunakan yaitu rumus inersia slinder berongga sebagai berikut:

$$I = \frac{1}{2} m \times (R_2^2 + R_1^2) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

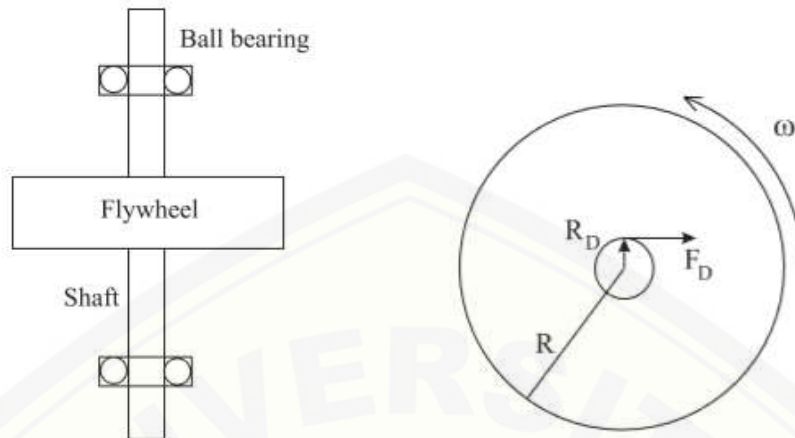
I = Momen inersia (kg.m²)

m = Massa benda (kg)

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

2.5 Perhitungan *Rolling Resistance*

Metode pengujian *rolling resistance* pada penelitian ini didapatkan teori bahwa gaya *rolling resistance* merupakan perhitungan dari gaya hambat (F_D) terjadi pada elemen bantalan yang menghasilkan nilai torsi dan gaya angkat dipengaruhi oleh gaya gravitasi pada *flywheel*. *Flywheel* merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk gerak rotasi pada poros. *Rolling resistance* dihitung dengan nilai yang diperoleh dari pengujian bantalan setelah diberi pada variasi pembebanan dan variasi kecepatan poros. Gaya hambat F_D pada bantalan dikarenakan adanya torsi pada sumbu rotasi poros (Abrahamsen, 2001).



Gambar 2.16 Ilustrasi *flywheel* pada bantalan (Abrahamsen, 2001)

$$T = R_D \cdot F_D \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana:

- T = Torsi (N.m)
- F_D = Gaya hambat (N)
- R_D = Jari-jari *inner* bantalan (m)

Koefisien *rolling resistance* (C_r), dihitung dengan membagi gaya hambat dengan beban terhadap gaya gravitasi.

Dengan persamaan:

$$F_D = - I \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

- F_D = Gaya hambat (N)
- I = Momen Inersia (kg.m^2)
- ω_1 : kecepatan sudut mula-mula (rad/s)
- ω_2 : kecepatan sudut akhir (rad/s)
- t_1 : waktu mula-mula (s)
- t_2 : waktu akhir (s)

Sehingga C_r memiliki persamaan berikut:

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(R_2^2 + R_1^2)\omega_2 - \omega_1}{g R_d t_2 - t_1} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

- C_r : Koefisien *rolling resistance*
 R_2^2 : jari – jari *flywheel* (m)
 R_1^2 : Jari – jari outer bantalan (m)
 R_d : Jari – jari inner bantalan (m)
 ω_1 : kecepatan sudut mula-mula (rad/s)
 ω_2 : kecepatan sudut akhir (rad/s)
 t_1 : waktu mula-mula (s)
 t_2 : waktu akhir (s)
 g : Gravitasi (9,8 m/s²)

2.6 Diagram *Fishbone*

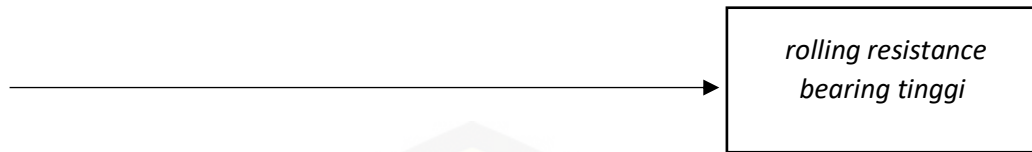
Fishbone diagram (diagram tulang ikan, karena bentuknya seperti tulang ikan). Sering disebut juga *Cause and effect diagram* atau *Ishikawa diagram* diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang ahli pengendalian kualitas dari Jepang, sebagai satu dari tujuh alat kualitas dasar. *Fishbone diagram* digunakan ketika kita ingin mengidentifikasi kemungkinan penyebab masalah dan terutama ketika sebuah *team* cenderung jatuh berpikir pada rutinitas. (Tague, 2005).

Suatu tindakan dan langkah *improvement* akan lebih mudah dilakukan jika masalah dan akar penyebab masalah sudah ditemukan. Manfaat *fishbone* ini dapat menolong kita untuk menemukan akar penyebab masalah secara *user friendly*, *tools* yang *user friendly* disukai orang-orang di industry manufaktur di mana proses di sana terkenal memiliki banyak ragam *variable* yang berpotensi menyebabkan munculnya permasalahan (Purba, 2008).

Langkah-langkah untuk menyusun dan menganalisa diagram *fishbone* sebagai berikut:

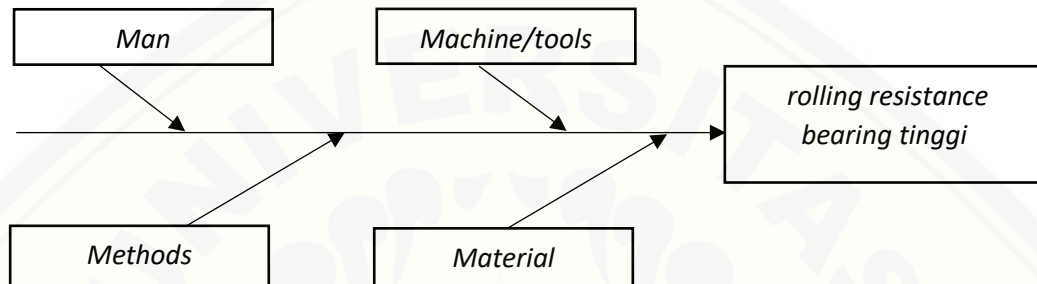
1. Identifikasi dan definisikan dengan jelas hasil atau akibat yang akan dianalisis

Gambar garis panah horizontal ke kanan yang akan menjadi tulang belakang.



Gambar 2.17 Identifikasi akibat yang akan dianalisis

2. Identifikasi penyebab-penyebab utama yang mempengaruhi hasil atau akibat.



Gambar 2.18 Identifikasi penyebab utama yang mempengaruhi

3. Untuk setiap penyebab utama, identifikasi faktor-faktor yang menjadi penyebab utama
4. Identifikasi lebih detail lagi secara bertingkat berbagai penyebab dan lanjutkan mengorganisasikannya dibawah kategori atau penyebab yang berhubungan.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perancangan Mekanik Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Alat uji *rolling resistance bearing*
- b. Motor listrik AC dengan spesifikasi : 0,75 kW, 1 HP, 2850 rpm, 1 phase, 220 V.
- c. *Tachometer*

3.2.2 Bahan

- a. Bantalan (6000 dan 6200) *full* keramik dan *hybrid*

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis material bantalan *single row deep groove* terhadap nilai *rolling resistance*.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini antara lain kecepatan putar 290 rpm, 310 rpm, dan 330 rpm. Dan beban radial yang diberikan pada bantalan sebesar 165 N, 177 N, dan 207 N.

3.4 Prosedur Pengujian

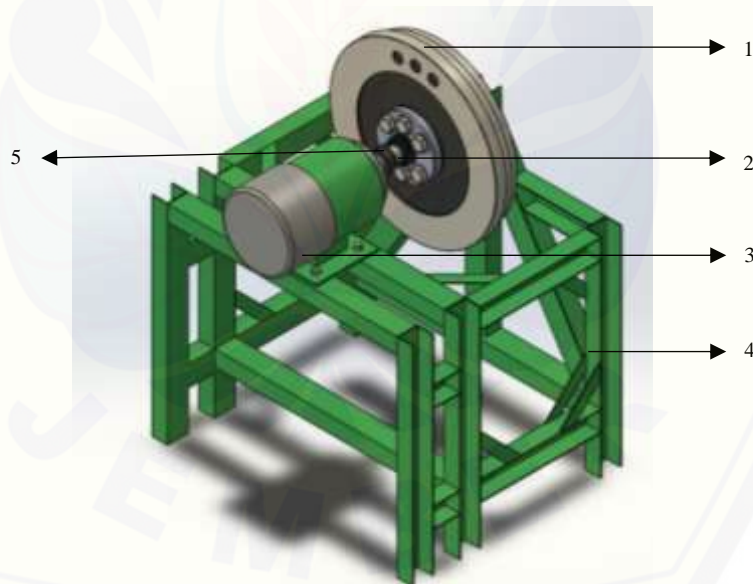
3.4.1 Metode Pengujian

Dalam penelitian ini metode pengujian yang akan dilakukan adalah metode eksperimental. Metode ini dilakukan dengan cara mengamati nilai *Rolling resistance* pada bantalan dan diberikan variasi pembebanan pada *flywheel* ketika *flywheel* diputar pada masing masing kecepatan yaitu 290 rpm, 310 rpm, dan 330 rpm. Nilai yang diamati yaitu nilai perubahan kecepatan sudut ($d\omega$) dan selisi waktu (dt) sebagai data untuk perhitungan koefisien *rolling resistance* (C_r). Setelah mengetahui nilai (C_r) pada masing masing kecepatan putar, C_r digunakan sebagai faktor pengali terhadap (W) untuk memperoleh nilai *rolling resistance* (F_r).

3.4.2 Langkah Pengujian

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

- a. Perancangan alat uji *rolling resistance*, diperlukan guna memvisualisasikan konstruksi alat pengujian dalam bentuk gambar teknik pada gambar 3.1;

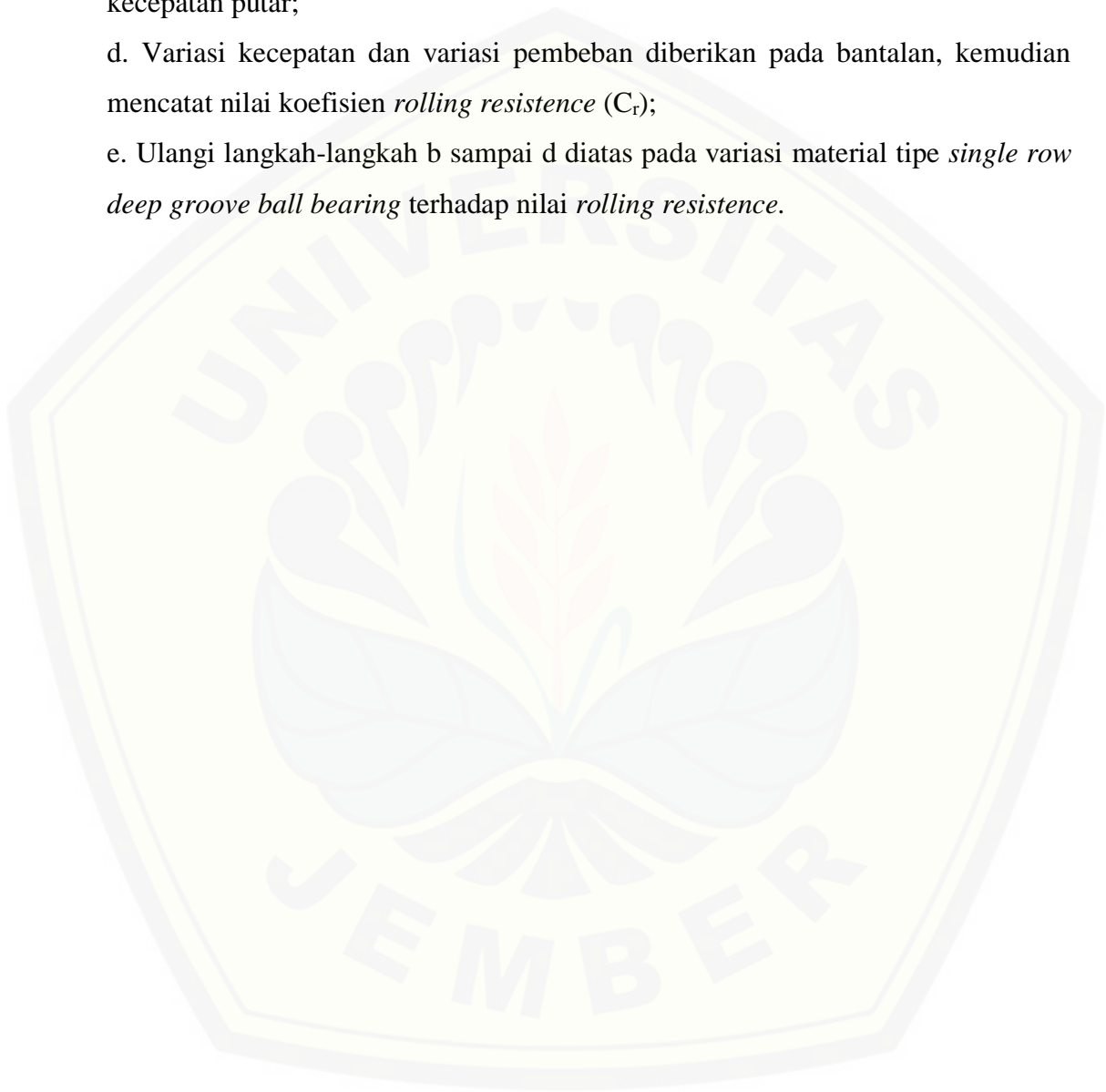


Gambar 3.1 Aat uji *rolling resistance* bantalan

Keterangan :

1. *Flywheel*, berfungsi sebagai variasi beban pada bantalan;
2. *Shaft*, berfungsi untuk menopang *flywheel*;
3. Motor AC, sebagai pemberi putaran pada *flywheel*;

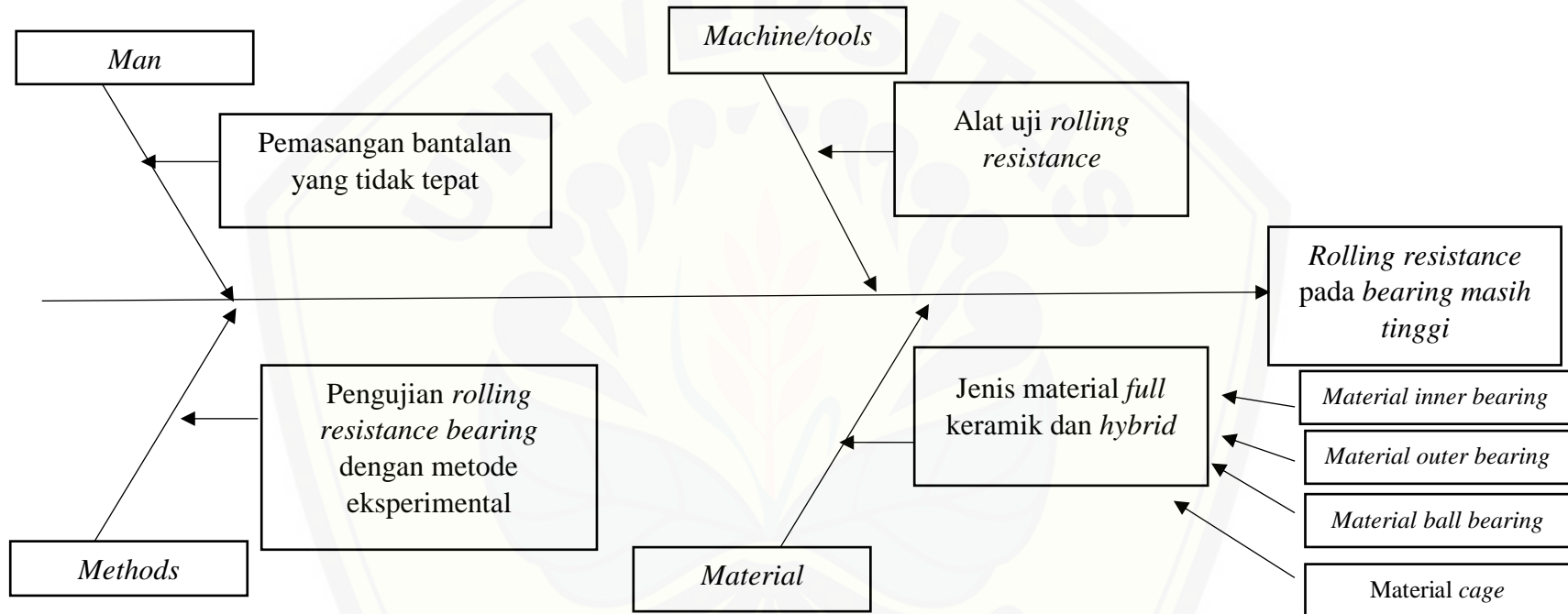
4. Rangka utama, merupakan dudukan seluruh komponen alat uji;
5. *Clutch*, berfungsi meneruskan dan menghentikan putaran dari motor ke *flywheel*.
 - b. Memasang bantalan pada *flywheel*;
 - c. Memastikan kelistrikan alat dan menyalakan motor listrik sesuai variasi kecepatan putar;
 - d. Variasi kecepatan dan variasi pembeban diberikan pada bantalan, kemudian mencatat nilai koefisien *rolling resistance* (C_r);
 - e. Ulangi langkah-langkah b sampai d diatas pada variasi material tipe *single row deep groove ball bearing* terhadap nilai *rolling resistance*.



15	6200	Keramik	177	330	25
16	6200	Keramik	207	290	22
17	6200	Keramik	207	310	24
18	6200	Keramik	207	330	25
19	6000	Hybrid	165	290	22
20	6000	Hybrid	165	310	24
21	6000	Hybrid	165	330	25
22	6000	Hybrid	177	290	22
23	6000	Hybrid	177	310	24
24	6000	Hybrid	177	330	25
25	6000	Hybrid	207	290	22
26	6000	Hybrid	207	310	24
27	6000	Hybrid	207	330	25
28	6200	Hybrid	165	290	22
29	6200	Hybrid	165	310	24
30	6200	Hybrid	165	330	25
31	6200	Hybrid	177	290	22
32	6200	Hybrid	177	310	24
33	6200	Hybrid	177	330	25
34	6200	Hybrid	207	290	22
35	6200	Hybrid	207	310	24
36	6200	Hybrid	207	330	25

3.6 Analisa Penelitian

Penelitian ini menggunakan *fishbone diagram* untuk memudahkan dalam analisa penelitian. seperti pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.2 Analisa *fishbone diagram*

Langkah menganalisa pengaruh *single row deep groove ball bearing* terhadap *rolling resistance* sebagai berikut :

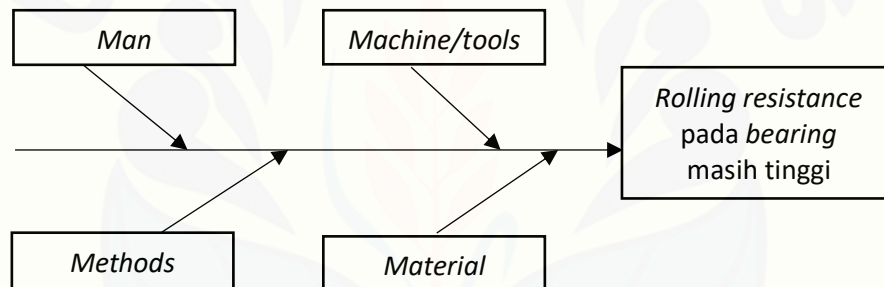
1. Identifikasi akibat yang akan dianalisis



Gambar 3.3 Identifikasi akibat yang akan dianalisis

Gambar 3.3 menunjukkan akibat yang akan dianalisis. Faktor apa saja yang mempengaruhi *rolling resistance* pada *bearing*.

2. Identifikasi penyebab-penyebab utama yang mempengaruhi *rolling resistance* terhadap *bearing*.



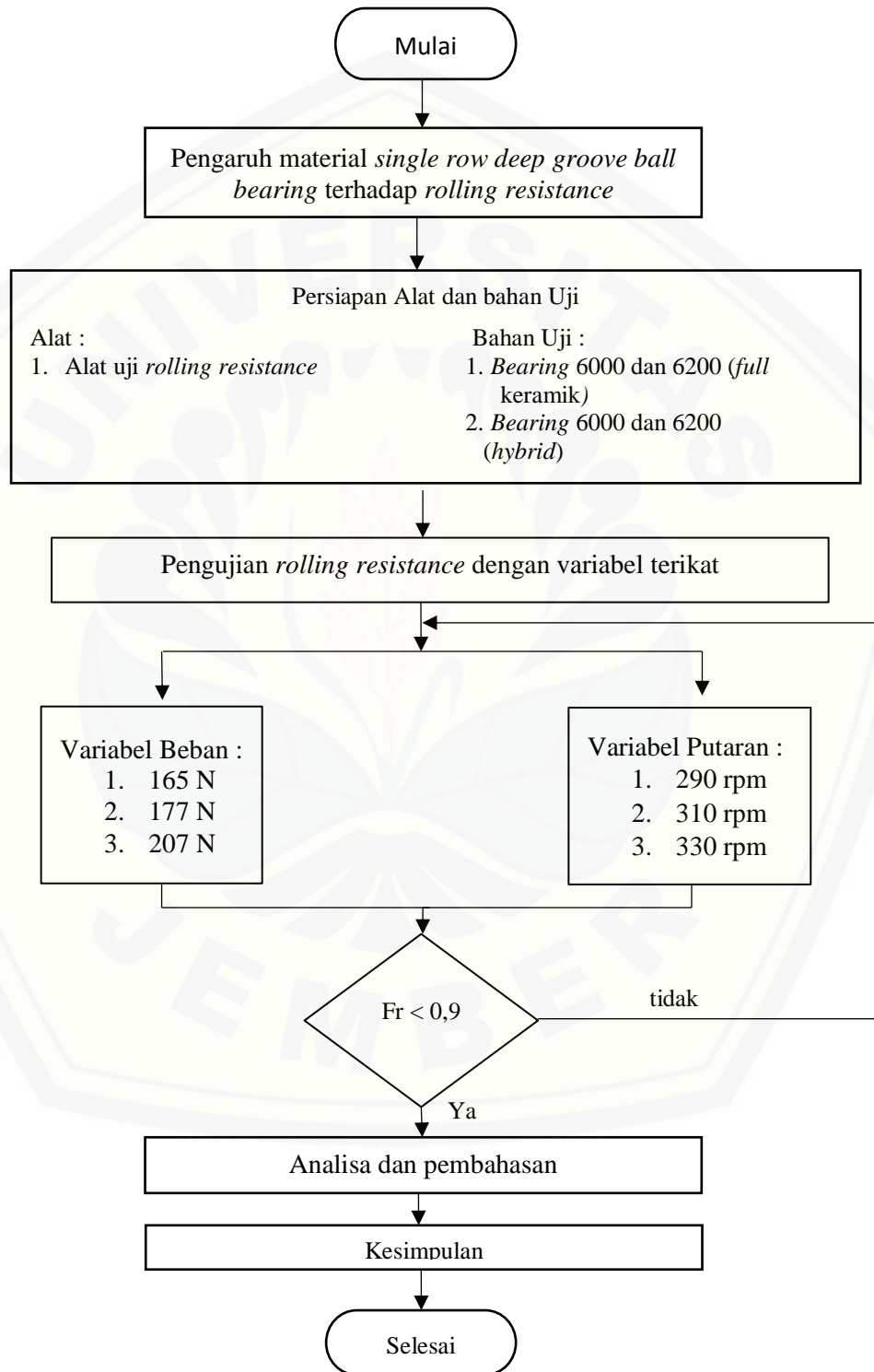
Gambar 3.4 Identifikasi penyebab-penyebab utama

Gambar 3.4 menunjukkan penyebab-penyebab utama yang mempengaruhi *rolling resistance*. Antara lain: *man*, *machine/tools*, *methods*, *material*.

3. Dari segi *machine/tools* pada penelitian ini menggunakan alat uji *rolling resistance*.
4. *Man* merupakan cara memasang *bearing* yang merupakan salah satu penyebab performa nilai *rolling resistance*.
5. Metode pengujian *rolling resistance* menggunakan metode eksperimental. Sedangkan untuk menentukan variabel pengujian diperoleh berdasarkan data aktual dari mobil listrik Titen untuk keperluan lomba.
6. Jenis material yang terdapat dalam komponen *bearing* berpengaruh terhadap performa nilai *rolling resistance*. Antara lain dari bahan *cage*, *ball*, *inner bearing*, *outer bearing*.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan diagram alir seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

3.7.1 Alur Penelitian

1. Pengaruh material *single row deep groove ball bearing* terhadap *rolling resistance*

Tentukan judul penelitian. Penentuan judul dan tema akan mempermudah peneliti dalam melakukan penelitian.

2. Persiapan alat dan bahan uji

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu eksperimental, dimana mempersiapkan alat uji dan bahan menjadi langkah yang harus dilakukan untuk pengambilan data yang diperlukan penulis.

3. Pengujian *rolling resistance* dengan variabel terikat

Setelah mempersiapkan alat dan bahan uji, dilakukan pengujian dengan mencari nilai *rolling resistance* menggunakan variabel terikat yang ditentukan. Setiap masing-masing variasi beban diujikan terhadap masing-masing putaran rpm. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali, guna memperkecil *error* dan supaya data lebih akurat.

4. Analisa dan pembahasan

Pembahasan yang dibahas dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh *single row deep groove ball bearing* terhadap *rolling resistance*.

5. Kesimpulan

Dari semua pengujian dan teori yang ada, selanjutnya menyimpulkan penelitian ini dengan menjawab tujuan yang ditulis dalam tujuan penelitian.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh jenis material terhadap *rolling resistance* yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh jenis material yang terkandung dalam *bearing hybrid* dan *ceramic* terhadap nilai *rolling resistance*. Antara lain material *cage*, *ball bearing* yang mempunyai sifat mekanis. Jenis material *hybrid* memiliki nilai *rolling resistance* lebih kecil dari jenis material *full ceramic* sebesar 0,7110 N.
2. Performa paling rendah dari nilai *rolling resistance* yang terjadi pada jenis material *hybrid* 6000 dan *full ceramic* 6000 yaitu pada beban 165 N dan putaran 290 rpm. Semakin kecil beban dan putaran yang diberikan kepada *bearing*, semakin kecil juga nilai *rolling resistance* yang dihasilkan.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, ada beberapa saran yang diberikan untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya, diantaranya sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai jenis material terhadap *rolling resistance* ini dengan jenis material yang lebih kompleks lagi.
2. Menggunakan *bearing* dengan kualitas yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya.
3. Beri beban yang lebih rendah dalam penelitian selanjutnya karena pada penelitian ini masih belum memaksimalkan performa *bearing full ceramic*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamsen, A. B. 2001. *Superconducting Bearings For Flywheel Application*. Denmark: Danka sevice international.
- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat, 2015. Konsumsi BBM Nasional per Tahun 2006-2015. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat, 2016. Statistik Produksi Kendaraan Bermotor dalam Negeri unit 2000-2016. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik.
- Darmanto, 2011, *Mengenal Pelumas Pada Mesin*, Jurnal Momentum, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Hanwa, F. 2001. *KBC Rolling Bearing*. FAG HANWHA Bearings Corp.
- Hermawan, S. 2012. Studi Karakteristik Hidrodinamika Pada Slider Bearing Dengan Permukaan Slip dan/atau Permukaan Berstektur. Semarang, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.
- Juhala, M. M 2014. *Improving Vehicle Rolling Resistance and Aerodynamic*. Finland: Woodhead Publishing Limited. *Science Direct*. (2014): 462 – 475.
- Koyo. 2004. *Ceramic Bearings and Exsev Bearings*. Jepang. JTEKT Corporation.
- Moynihan, R. E., 1959, “The Molecular Structure of Perfluorocarbon Polymers. Infrared Studies on Polytetrafluoroethylene” no. 1, J. Amer. Chem. Soc., 81, hal. 1045.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 tahun 2011. *Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. 20 September 2011. Jakarta.
- Purba, H. H. 2008. Diagram *fishbone* dari *Ishikawa*.
<http://hardipurba.com/2008/09/25/diagram-fishbone-dari-ishikawa.html>.
[Diakses pada 17 Oktober 2018]
- Purnomo, S. J. Pratama, B. Hakim, L. N. 2017. Uji Eksperimental Kinerja Mobil Listrik. *Prosiding SNATIF*. 25 Juli 2017. *SNATIF*: 679-686.
- Rizal, M. F. A. 2013. Makalah Bantalan Bearing. *Makalah Kuliah Umum*. Jakarta: Politeknik Manufaktur Astra.
- Sidhart das, B. M. R. 2014. Tyre modelling for *Rolling Resistance*. *International Jurnal*, 24 (2014): 3.

SKF Group. 2012. *Railway Technical Handbook*. Volume 1, Chapter 4, Page 99-105. Rusia: PUB 42/P2 12788 EN.

Sugiyono. 2017. *Analisa Hasil Kekerasan Metode Vickers Dengan Variasi Gaya Pembebanan Pada Baja*. Malang: Poiteknik Negeri Malang.

Sularso, Suga, Kiyokatsu. 1997. *DASAR PERENCANAAN DAN PEMILIHAN ELEMEN MESIN*. Jakarta: PT Pradya Paramita.

Sutantra, I. N. dan B. Sampurno. 2010. *Teknologi Otomotif*. Surabaya: Penerbit Guna Widya.

Tague, N. R. 2005. *The quality tollbox*.
<http://asq.org/quality-press/display-item/index.html?item=H1224>. [Diakses pada 17 Oktober 2018)

Wang, H., Q. Han, R. Luo, T. Qing. 2017. Dynamic Modeling of Moment Wheel Assemblies with Nonlinier Rolling Bearing Supports. *International Journal*. 406 (2017): 124 – 145.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Hasil Penelitian

A.1 Data hasil perhitungan koefisien dan nilai *rolling resistance*

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr)	Fr rata-rata
1	hybrid	6000	207	290	1	0,006807675		1,40918868	
2	hybrid	6000	207	290	2	0,00668965		1,384757531	
3	hybrid	6000	207	290	3	0,006807675	0,00681355	1,40918868	1,4104047
4	hybrid	6000	207	290	4	0,00711917		1,473668163	
5	hybrid	6000	207	290	5	0,006643578		1,375220634	
6	hybrid	6000	207	310	1	0,007062842		1,462008294	
7	hybrid	6000	207	310	2	0,006856216	0,00702271	1,419236775	1,453701
8	hybrid	6000	207	310	3	0,007062842		1,462008294	
9	hybrid	6000	207	310	4	0,007211014		1,492679797	
10	hybrid	6000	207	310	5	0,006920637		1,432571885	
11	hybrid	6000	207	330	1	0,006697391		1,386359889	
12	hybrid	6000	207	330	2	0,006628637	0,00707491	1,372127934	1,4645064
13	hybrid	6000	207	330	3	0,00731314		1,513820025	
14	hybrid	6000	207	330	4	0,007431973		1,53841832	
15	hybrid	6000	207	330	5	0,007303409		1,511805628	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
16	hybrid	6000	177	290	1	0,004856139		0,859536633	
17	hybrid	6000	177	290	2	0,004781567	0,00476986	0,84633736	0,8442653
18	hybrid	6000	177	290	3	0,004755279		0,841684314	
19	hybrid	6000	177	290	4	0,004689392		0,830022423	
20	hybrid	6000	177	290	5	0,004766927		0,843746003	
21	hybrid	6000	177	310	1	0,005012799			
22	hybrid	6000	177	310	2	0,004947233	0,00493394	0,875660214	0,8733076
23	hybrid	6000	177	310	3	0,004909289		0,868944236	
24	hybrid	6000	177	310	4	0,00482951		0,854823261	
25	hybrid	6000	177	310	5	0,004970876		0,87984497	
26	hybrid	6000	177	330	1	0,005171103			
27	hybrid	6000	177	330	2	0,005120289	0,00508914	0,906291177	0,900778
28	hybrid	6000	177	330	3	0,005070464		0,897472087	
29	hybrid	6000	177	330	4	0,005001751		0,885309845	
30	hybrid	6000	177	330	5	0,0050821		0,89953169	
31	hybrid	6000	165	290	1	0,004380782			
32	hybrid	6000	165	290	2	0,004316055	0,0043089	0,712148993	0,7109692
33	hybrid	6000	165	290	3	0,004321162		0,712991773	
34	hybrid	6000	165	290	4	0,004240862		0,699742216	
35	hybrid	6000	165	290	5	0,00428566		0,707133859	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
36	hybrid	6000	165	310	1	0,004522829		0,746266811	
37	hybrid	6000	165	310	2	0,004453168	0,00444506	0,734772685	0,733435
38	hybrid	6000	165	310	3	0,004450629		0,734353772	
39	hybrid	6000	165	310	4	0,004375787		0,722004774	
40	hybrid	6000	165	310	5	0,004422891		0,729777063	
41	hybrid	6000	165	330	1	0,004606453		0,760064821	
42	hybrid	6000	165	330	2	0,004573496	0,00455972	0,754626823	0,7523544
43	hybrid	6000	165	330	3	0,004576014		0,755042366	
44	hybrid	6000	165	330	4	0,004501648		0,742771905	
45	hybrid	6000	165	330	5	0,004541007		0,749266086	
46	full ceramic	6000	207	290	1	0,00642242		0,00700458	
47	full ceramic	6000	207	290	2	0,007098216	1,469330655		
48	full ceramic	6000	207	290	3	0,007741954	1,602584559		
49	full ceramic	6000	207	290	4	0,007134967	1,476938136		
50	full ceramic	6000	207	290	5	0,006625326	1,371442555		
51	full ceramic	6000	207	310	1	0,00659319	0,00717167	1,364790351	1,4845355
52	full ceramic	6000	207	310	2	0,007241397		1,498969178	
53	full ceramic	6000	207	310	3	0,007926018		1,64068571	
54	full ceramic	6000	207	310	4	0,007282309		1,50743793	
55	full ceramic	6000	207	310	5	0,006815432		1,41079452	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
56	full ceramic	6000	207	330	1	0,006767585		1,400890171	
57	full ceramic	6000	207	330	2	0,007337583	0,00733497	1,518879584	1,5183388
58	full ceramic	6000	207	330	3	0,008053576		1,667090138	
59	full ceramic	6000	207	330	4	0,007528823		1,558466295	
60	full ceramic	6000	207	330	5	0,006987284		1,446367828	
61	full ceramic	6000	177	290	1	0,004525809		0,801068153	
62	full ceramic	6000	177	290	2	0,004784506	0,00478348	0,846857543	0,8466758
63	full ceramic	6000	177	290	3	0,004911288		0,869297932	
64	full ceramic	6000	177	290	4	0,004784506		0,846857543	
65	full ceramic	6000	177	290	5	0,004911288		0,869297932	
66	full ceramic	6000	177	310	1	0,004640962		0,821450351	
67	full ceramic	6000	177	310	2	0,004880496	0,00489791	0,863847788	0,8669294
68	full ceramic	6000	177	310	3	0,005027943		0,889945909	
69	full ceramic	6000	177	310	4	0,004912188		0,86945719	
70	full ceramic	6000	177	310	5	0,005027943		0,889945909	
71	full ceramic	6000	177	330	1	0,004764981		0,843401687	
72	full ceramic	6000	177	330	2	0,005010238	0,00502199	0,886812068	0,8888924
73	full ceramic	6000	177	330	3	0,005171103		0,91528531	
74	full ceramic	6000	177	330	4	0,005004576		0,88581002	
75	full ceramic	6000	177	330	5	0,005159057		0,91315302	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
76	full ceramic	6000	165	290	1	0,005361795	0,00580221	0,884696106	0,957365
77	full ceramic	6000	165	290	2	0,006366839		1,050528418	
78	full ceramic	6000	165	290	3	0,006025383		0,994188198	
79	full ceramic	6000	165	290	4	0,005661058		0,934074493	
80	full ceramic	6000	165	290	5	0,005595988		0,923338005	
81	full ceramic	6000	165	310	1	0,005455208	0,00592878	0,900109375	0,978248
82	full ceramic	6000	165	310	2	0,006499919		1,072486691	
83	full ceramic	6000	165	310	3	0,006089238		1,004724272	
84	full ceramic	6000	165	310	4	0,005816992		0,959803663	
85	full ceramic	6000	165	310	5	0,005782521		0,954115938	
86	full ceramic	6000	165	330	1	0,005532651	0,0059896	0,912887441	0,9882837
87	full ceramic	6000	165	330	2	0,00660051		1,089084144	
88	full ceramic	6000	165	330	3	0,006155587		1,015671805	
89	full ceramic	6000	165	330	4	0,005811218		0,958851005	
90	full ceramic	6000	165	330	5	0,005848024		0,964923953	
91	hybrid	6200	207	290	1	0,005359856	0,00545325	1,109490142	1,1288226
92	hybrid	6200	207	290	2	0,00519281		1,074911728	
93	hybrid	6200	207	290	3	0,005654664		1,170515346	
94	hybrid	6200	207	290	4	0,005456702		1,129537395	
95	hybrid	6200	207	290	5	0,005602214		1,159658392	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
96	hybrid	6200	207	310	1	0,005800275		1,200656983	
97	hybrid	6200	207	310	2	0,005374761	0,00569132	1,112575487	1,1781033
98	hybrid	6200	207	310	3	0,005836322		1,208118693	
99	hybrid	6200	207	310	4	0,005644967		1,168508244	
100	hybrid	6200	207	310	5	0,005800275		1,200656983	
101	hybrid	6200	207	330	1	0,005730464		1,186206069	
102	hybrid	6200	207	330	2	0,005576451	0,00584349	1,154325277	1,2096027
103	hybrid	6200	207	330	3	0,006019026		1,245938394	
104	hybrid	6200	207	330	4	0,005849341		1,210813535	
105	hybrid	6200	207	330	5	0,006042176		1,250730465	
106	hybrid	6200	177	290	1	0,006286653		1,112737506	
107	hybrid	6200	177	290	2	0,006291722	0,00627566	1,113634875	1,1107911
108	hybrid	6200	177	290	3	0,00622148		1,10120195	
109	hybrid	6200	177	290	4	0,006301887		1,115433962	
110	hybrid	6200	177	290	5	0,006276537		1,1109471	
111	hybrid	6200	177	310	1	0,00648506		1,147855543	
112	hybrid	6200	177	310	2	0,006571936	0,00648342	1,163232646	1,1475652
113	hybrid	6200	177	310	3	0,006420159		1,136368151	
114	hybrid	6200	177	310	4	0,006464951		1,144296301	
115	hybrid	6200	177	310	5	0,00647499		1,146073158	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
116	hybrid	6200	177	330	1	0,006685118		1,183265972	
117	hybrid	6200	177	330	2	0,006797732	0,00668966	1,203198477	1,1840696
118	hybrid	6200	177	330	3	0,006620311		1,171795086	
119	hybrid	6200	177	330	4	0,006665043		1,17971262	
120	hybrid	6200	177	330	5	0,006680088		1,182375629	
121	hybrid	6200	165	290	1	0,005975599		0,985973863	
122	hybrid	6200	165	290	2	0,006315884	0,00614407	1,042120778	1,0137722
123	hybrid	6200	165	290	3	0,006182524		1,020116539	
124	hybrid	6200	165	290	4	0,006151352		1,014973094	
125	hybrid	6200	165	290	5	0,006095012		1,005676921	
126	hybrid	6200	165	310	1	0,00619062		1,021452352	
127	hybrid	6200	165	310	2	0,006472245	0,0062356	1,067920408	1,0288746
128	hybrid	6200	165	310	3	0,006127599		1,011053855	
129	hybrid	6200	165	310	4	0,006127599		1,011053855	
130	hybrid	6200	165	310	5	0,006259955		1,032892619	
131	hybrid	6200	165	330	1	0,006382973		1,053190471	
132	hybrid	6200	165	330	2	0,006695964	0,00661704	1,104834056	1,0918122
133	hybrid	6200	165	330	3	0,006553721		1,081363938	
134	hybrid	6200	165	330	4	0,006788736		1,120141455	
135	hybrid	6200	165	330	5	0,006663823		1,099530852	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
136	full ceramic	6200	207	290	1	0,011504548		2,38144134	
137	full ceramic	6200	207	290	2	0,01980291	0,01445199	4,099202307	2,9915623
138	full ceramic	6200	207	290	3	0,013727017		2,841492508	
139	full ceramic	6200	207	290	4	0,013459359		2,786087362	
140	full ceramic	6200	207	290	5	0,013766125		2,849587929	
141	full ceramic	6200	207	310	1	0,01165947		2,413510255	
142	full ceramic	6200	207	310	2	0,019639335	0,01438948	4,065342369	2,978622
143	full ceramic	6200	207	310	3	0,013903486		2,878021651	
144	full ceramic	6200	207	310	4	0,013363894		2,766326114	
145	full ceramic	6200	207	310	5	0,013381205		2,769909438	
146	full ceramic	6200	207	330	1	0,011761241		2,434576948	
147	full ceramic	6200	207	330	2	0,019225106	0,01679287	3,979596935	3,476125
148	full ceramic	6200	207	330	3	0,014080359		2,914634375	
149	full ceramic	6200	207	330	4	0,025338158		5,244998725	
150	full ceramic	6200	207	330	5	0,013559508		2,80681806	
151	full ceramic	6200	177	290	1	0,00800178		1,416315124	
152	full ceramic	6200	177	290	2	0,00719054	0,00712741	1,272725572	1,2615519
153	full ceramic	6200	177	290	3	0,006934876		1,227473107	
154	full ceramic	6200	177	290	4	0,006790022		1,201833982	
155	full ceramic	6200	177	290	5	0,006719841		1,189411926	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
156	full ceramic	6200	177	310	1	0,007950226		1,407189922	
157	full ceramic	6200	177	310	2	0,007367303	0,00725625	1,304012569	1,2843564
158	full ceramic	6200	177	310	3	0,007109792		1,258433272	
159	full ceramic	6200	177	310	4	0,00696724		1,233201527	
160	full ceramic	6200	177	310	5	0,006886694		1,218944862	
161	full ceramic	6200	177	330	1	0,007801263		1,380823559	
162	full ceramic	6200	177	330	2	0,007568489	0,00738559	1,339622515	1,3072498
163	full ceramic	6200	177	330	3	0,00731891		1,295447	
164	full ceramic	6200	177	330	4	0,007165325		1,268262478	
165	full ceramic	6200	177	330	5	0,007073974		1,252093395	
166	full ceramic	6200	165	290	1	0,007106902		0,0064289	
167	full ceramic	6200	165	290	2	0,00656512	1,083244827		
168	full ceramic	6200	165	290	3	0,006219294	1,026183502		
169	full ceramic	6200	165	290	4	0,006203482	1,023574561		
170	full ceramic	6200	165	290	5	0,006049677	0,998196679		
171	full ceramic	6200	165	310	1	0,007279018	0,00671785	1,201037929	1,1084452
172	full ceramic	6200	165	310	2	0,006839986		1,128597704	
173	full ceramic	6200	165	310	3	0,006786595		1,119788182	
174	full ceramic	6200	165	310	4	0,006408636		1,057424876	
175	full ceramic	6200	165	310	5	0,006275015		1,035377525	

Nomor	Material Bearing	Type Bearing	Beban Flywheel (N)	Putaran (Rpm)	Pengujian	Koefisien rolling resistance (Cr)	Cr rata-rata	Rolling resistance (Fr) (N)	Fr rata-rata (N)
176	full ceramic	6200	165	330	1	0,007437303		1,227154969	
177	full ceramic	6200	165	330	2	0,007005702		1,155940761	
178	full ceramic	6200	165	330	3	0,006935703	0,00692222	1,144390979	1,1421668
179	full ceramic	6200	165	330	4	0,006626714		1,093407769	
180	full ceramic	6200	165	330	5	0,006605693		1,089939386	

A.2 Data spesifikasi *flywheel* dan *bearing*

Tabel A.2 Data spesifikasi *flywheel* dan *bearing*

Type bearing	R _d (m)	R ₁ (m)	R ₂ (m)
6000	0,005	0,0130	0,176
6200	0,005	0,0150	0,176

Lampiran B. Perhitungan

B. 1. Perhitungan Kecepatan Sudut (ω)

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

Dengan putaran 290 rpm

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 290}{60} = 30,35 \text{ rad/s}$$

Dengan putaran 310 rpm

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 310}{60} = 32,45 \text{ rad/s}$$

Dengan putaran 330 rpm

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 330}{60} = 34,54 \text{ rad/s}$$

B.2 Perhitungan koefisien rolling resistance (C_r)

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(R_2^2 + R_1^2) d\omega}{g R D dt}$$

a) Dengan putaran 290 rpm

1. Bearing hybrid 6000

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1427} = 0,006807675$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,006807675 + 0,00668965 + 0,00680767675 + 0,0071917 + 0,006643578}{5} \\ &= 0,007201063 \end{aligned}$$

2. *Bearing full ceramic 6000*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1667} = 0,0064$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,00642242 + 0,007098216 + 0,007741954 + 0,0071349670 + 0,006625326}{5} \\ &= 0,00700458 \end{aligned}$$

3. *Bearing hybrid 6200*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1803} = 0,0054$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,005359856 + 0,00519281 + 0,005654664 + 0,005456702 + 0,005602214}{5} \\ &= 0,00545325 \end{aligned}$$

4. *Bearing full ceramic 6200*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 30,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 840} = 0,0115$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,011504548 + 0,01980291 + 0,013727017 + 0,013459359 + 0,013766125}{5} \\ &= 0,01445199 \end{aligned}$$

b) Dengan putaran 310 rpm

1. *Bearing hybrid 6000*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 32,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1460} = 0,0071$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,007062842 + 0,006856216 + 0,007062842 + 0,007211014 + 0,006920637}{5} \\ &= 0,00702271 \end{aligned}$$

2. *Bearing full ceramic 6000*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 32,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1502} = 0,0064$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,00642242 + 0,007098216 + 0,007741954 + 0,007134967 + 0,006625326}{5} \\ &= 0,00700458 \end{aligned}$$

3. *Bearing hybrid 6200*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 32,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1803} = 0,0054$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,005800275 + 0,005374761 + 0,005836322 + 0,005644967 + 0,005800275}{5} \\ &= 0,00569132 \end{aligned}$$

4. *Bearing full ceramic 6200*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 32,35}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 886} = 0,0117$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,01165947 + 0,019639335 + 0,013903486 + 0,013363894 + 0,013381205}{5} \\ &= 0,01438948 \end{aligned}$$

c) Dengan putaran 330 rpm

1. *Bearing hybrid 6000*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1639} = 0,0067$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,006697391 + 0,006628637 + 0,00731314 + 0,007431973 + 0,007303409}{5} \\ &= 0,00707491 \end{aligned}$$

2. *Bearing full ceramic 6000*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1622} = 0,0068$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,006767585 + 0,007337583 + 0,008053576 + 0,007528823 + 0,006987284}{5} \\ &= 0,00733497 \end{aligned}$$

3. *Bearing hybrid 6200*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 1919} = 0,0057$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,005730464 + 0,005576451 + 0,006019026 + 0,005849341 + 0,006042176}{5} \\ &= 0,00584349 \end{aligned}$$

4. *Bearing full ceramic 6200*

$$C_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0,176^2 + 0,013^2) \cdot 34,54}{9,8 \cdot 0,005 \cdot 935} = 0,0118$$

Kemudian koefisien *rolling resistance* pada pengujian ini, dicari nilai rata-ratanya, sehingga :

$$\begin{aligned} C_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum C_r}{5} \\ &= \frac{0,011761241 + 0,019225106 + 0,014080359 + 0,025338158 + 0,013559508}{5} \\ &= 0,01679287 \end{aligned}$$

B. 3. Perhitungan gaya *rolling resistance* (F_r)

$$F_r = C_r \cdot W$$

a) Dengan beban 165 Newton

1. *Bearing hybrid 6000*

$$F_r = 0,004380782 \cdot 165 = 0,722829092 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} F_r \text{ rata-rata} &= \frac{\sum F_r}{5} = \frac{0,722829092 + 0,712148993 + 0,712991773 + 0,699742216 + 0,707133859}{5} \\ &= 0,7109692 \text{ N} \end{aligned}$$

2. *Bearing full ceramic 6000*

$$F_r = 0,005361795 \cdot 165 = 0,884696106\text{N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} F_r \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma F_r}{5} = \frac{0,884696106+1,050528418+0,994188198+0,934074493+0,923338005}{5} \\ &= 0,957365 \text{ N} \end{aligned}$$

3. *Bearing hybrid 6200*

$$F_r = 0,005975599 \cdot 165 = 0,985973863 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} F_r \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma F_r}{5} = \frac{0,985973863+1,042120778+1,020116539+1,014973094+1,005676921}{5} \\ &= 1,0137722 \text{ N} \end{aligned}$$

4. *Bearing full ceramic 6200*

$$F_r = 0,007106902 \cdot 165 = 1,172638817\text{N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} F_r \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma F_r}{5} = \frac{1,172638817+1,083244827+1,026183502+1,023574561+0,998196679}{5} \\ &= 1,0607677 \text{ N} \end{aligned}$$

b) Dengan beban 177 Newton

1. *Bearing hybrid 6000*

$$F_r = 0,004856139 \cdot 177 = 0,859536633\text{N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} F_r \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma F_r}{5} = \frac{0,859536633+0,84633736+0,841684314+0,830022423+0,843746003}{5} \\ &= 0,8442653 \text{ N} \end{aligned}$$

2. *Bearing full ceramic 6000*

$$F_r = 0,004525809 \cdot 177 = 0,801068153 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Fr rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{Fr}}{5} = \frac{0,801068153 + 0,846857543 + 0,869297932 + 0,846857543 + 0,869297932}{5} \\ &= 0,8466758 \text{ N} \end{aligned}$$

3. *Bearing hybrid 6200*

$$F_r = 0,006286653 \cdot 177 = 1,112737506 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Fr rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{Fr}}{5} = \frac{1,112737506 + 1,113634875 + 1,10120195 + 1,115433962 + 1,1109471}{5} \\ &= 1,1107911 \text{ N} \end{aligned}$$

4. *Bearing full ceramic 6200*

$$F_r = 0,00800178 \cdot 177 = 1,416315124 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Fr rata-rata} &= \frac{\Sigma \text{Fr}}{5} = \frac{1,416315124 + 1,272725572 + 1,227473107 + 1,201833982 + 1,189411926}{5} \\ &= 1,2615519 \text{ N} \end{aligned}$$

c) Dengan beban 207 Newton

1. *Bearing hybrid 6000*

$$F_r = 0,006807675 \cdot 207 = 1,40918868 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} Fr \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma Fr}{5} = \frac{1,40918868+1,384757531+1,40918868+1,473668163+1,375220634}{5} \\ &= 1,4104047 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Bearing full ceramic 6000

$$F_r = 0,00642242 \cdot 207 = 1,329440985 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} Fr \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma Fr}{5} = \frac{1,329440985+1,469330655+1,602584559+1,476938136+1,371442555}{5} \\ &= 1,4499474 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Bearing hybrid 6200

$$F_r = 0,005359856 \cdot 207 = 1,109490142 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} Fr \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma Fr}{5} = \frac{1,109490142+1,074911728+1,170515346+1,129537395+1,159658392}{5} \\ &= 1,1288226 \text{ N} \end{aligned}$$

4. Bearing full ceramic 6200

$$F_r = 0,011504548 \cdot 207 = 2,38144134 \text{ N}$$

Kemudian nilai *rolling resistance* pengujian dicari nilai rata-ratanya, sehingga:

$$\begin{aligned} Fr \text{ rata-rata} &= \frac{\Sigma Fr}{5} = \frac{2,38144134+4,099202307+2,841492508+2,786087362+2,849587929}{5} \\ &= 2,9915623 \text{ N} \end{aligned}$$

Lampiran C. Foto Kegiatan Penelitian



Gambar C.1 Pembuatan rangka alat uji



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



Gambar C.3 Set putaran 290 rpm



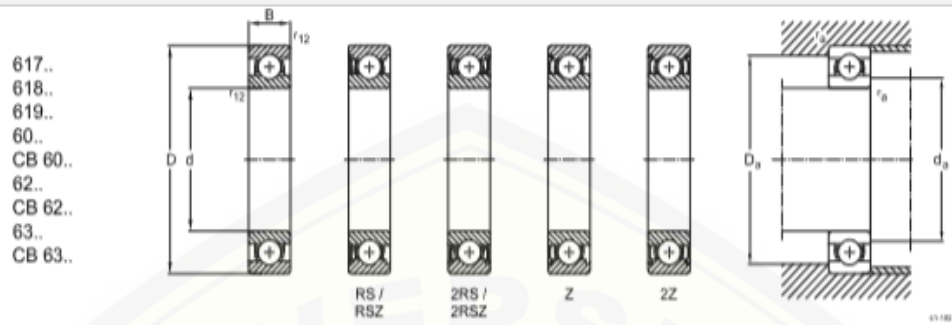
Gambar C.4 Set putaran 310 rpm



Gambar C.5 Set putaran 330 rpm

Lampiran D. Spesifikasi *Bearing*

D. 1. Spesifikasi *hybrid bearing*

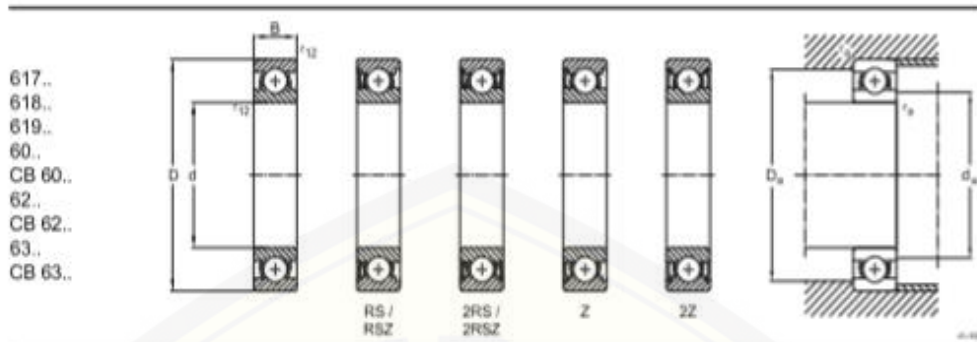


CB 60 14 .TB .P63 .GH73						
617 01 .2RS .Y						
618 05 .2Z .C3						
63 08 .2Z .P64						
ACC- 60 10 .TB .P63 .X22 .A15 .GH62						

Material - Steel rollers 100 Cr6 CB Ceramic rollers Si ₃ N ₄ AC- Rings AT Coated ACC- Rings AT Coated + balls Si ₃ N ₄	Lubrication - Corrosion protected G.. BearLub grease
Series 617.. 60.. 618.. 62.. 619.. 63..	Coating with ATCoat A11 Inner and outer ring ATCoated A15 Inner and outer ring ATCoated, rolling elements and cage corrosion resistant* A 21 Inner ring ATCoated A 31 Outer ring ATCoated
Bore code 00 10 mm 02 15 mm 01 12 mm 03 17 mm At number 04 and upward x 5 [mm]	Grading X03 Outer diameter in 3 groups X20 Bore in 2 groups X22 Outer diameter and bore in 2 groups X33 Outer diameter and bore in 3 groups
Sealing - Open Z Shield (at one side) 2Z Shield (at both sides) RS Seal (at one side) 2RS Seal (at both sides) RSZ Seal, low friction, at one side up to Ø 62 mm 2RSZ Seal, low friction, at both sides up to Ø 62 mm RSD Seal, low friction, at one side at Ø 62 mm and above 2RSD Seal, low friction, at both sides at Ø 62 mm and above	Precision classes and radial clearance P6, P63, P5, P62, P63 C2 CN C3 C4 e.g.: P63 = P5 + C3
Cage - Steel sheet cage (standard) JH Steel sheet snap cage TB Fabric reinforced phenolic resin cage located on inner ring THB Fabric reinforced phenolic resin cage TA Fabric reinforced phenolic resin cage located on outer ring MA Solid machined brass, located on outer ring LB Aluminium cage located on inner ring MB Solid machined brass, located on inner ring LA Aluminium cage located on outer ring KA PEEK located on outer ring PH Polyamide snap cage KB PEEK located on inner ring Y Brass sheet cage	

Designation system 41-900
*Corrosion protection depending on application, for further information please refer to main catalogue

D. 2. Spesifikasi *single row deep groove ball bearing*



Primary dimensions			Basic designation	Dimensions			Basic load ratings		Speed ratings		Weight kg
d	D	B		d _s	D _s	r ₁₂	C	C ₀	n _{limit} min ⁻¹	n _{max}	
10	15	3	61700	11.0	14.0	0.1	870	440	36 000	43 000	0.002
10	19	5	61800	12.0	17.0	0.3	1 750	850	37 000	43 000	0.005
10	22	6	61800	12.0	20.0	0.3	1 950	750	34 000	41 000	0.010
10	26	8	6000	12.0	24.0	0.3	4 600	2 000	31 000	36 500	0.020
10	30	9	6200	14.0	26.0	0.6	5 100	2 400	26 000	32 000	0.032
10	35	11	6300	14.0	31.0	0.6	8 100	3 500	21 000	27 000	0.055
12	18	4	61701	13.5	17.0	0.2	940	540	31 000	37 000	0.005
12	21	5	61801	14.0	19.0	0.3	1 800	950	33 000	39 000	0.006
12	24	6	61901	14.0	22.0	0.3	2 900	1 450	31 000	36 000	0.011
12	28	8	6001	14.0	26.0	0.3	5 100	2 400	26 500	33 000	0.022
12	32	10	6201	16.0	28.0	0.6	6 900	3 100	23 000	29 000	0.037
12	37	12	6301	17.0	32.0	1.0	9 700	4 200	19 000	25 000	0.060
15	21	4	61702	16.5	20.0	0.2	960	590	27 000	32 000	0.006
15	24	5	61802	17.0	22.0	0.3	2 000	1 250	28 000	33 000	0.007
15	28	7	61902	17.0	26.0	0.3	4 100	2 100	26 000	30 000	0.017
15	32	9	6002	17.0	30.0	0.3	5 600	2 900	22 500	30 000	0.030
15	35	11	6202	19.0	31.0	0.6	7 800	3 800	20 000	24 000	0.045
15	42	13	6302	20.0	37.0	1.0	11 400	5 400	17 500	21 000	0.080
17	23	4	61703	18.5	21.5	0.2	1 020	670	25 000	30 000	0.006
17	26	5	61803	19.0	24.0	0.3	2 200	1 400	26 000	32 000	0.009
17	30	7	61903	19.0	28.0	0.3	4 350	2 350	24 000	28 000	0.018
17	35	10	6003	19.0	33.0	0.3	6 100	3 300	20 000	26 000	0.042
17	40	12	6203	21.0	36.0	0.6	9 600	4 800	18 000	21 000	0.070
17	47	14	6303	22.0	42.0	1.0	13 500	6 600	17 000	20 000	0.120
20	27	4	61704	22.0	25.5	0.2	1 060	740	21 000	25 000	0.008
20	32	7	61804	22.0	30.0	0.3	3 450	2 250	20 000	26 000	0.020
20	37	9	61904	22.0	35.0	0.3	6 550	3 650	19 000	23 000	0.040
20	42	12	6004	24.0	38.0	0.6	9 500	5 200	17 500	21 000	0.070
20	47	14	6204	25.0	42.0	1.0	12 800	6 700	15 000	19 000	0.110
20	52	15	6304	26.5	45.5	1.1	15 900	7 800	14 000	17 000	0.140
25	32	4	61705	27.0	30.5	0.2	1 110	860	19 000	23 000	0.010
25	37	7	61805	27.0	35.0	0.3	4 360	2 600	18 000	25 000	0.022
25	42	9	61905	27.0	40.0	0.3	6 650	4 100	16 000	19 000	0.041
25	47	12	6005	29.0	43.0	0.6	11 500	6 800	15 500	19 000	0.080
25	52	15	6205	30.0	47.0	1.0	14 000	7 900	13 000	16 000	0.130
25	62	17	6305	31.5	55.5	1.1	22 500	11 600	12 000	14 000	0.250

