



TUGAS AKHIR - TM TM145502

**PERBANDINGAN DAYA INPUT BEARING BAJA
(*STEEL*) DAN BEARING KERAMIK PADA MOTOR
LISTRIK MOBIL NOGOGENI EVO V**

ROHMADONI
NRP.102115 000 001 31

Dosen Pembimbing :
Ir. Suhariyanto, MT.
NIP. 19620424 198903 1 005

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PERBANDINGAN DAYA INPUT BEARING BAJA
(*STEEL*) DAN BEARING KERAMIK PADA MOTOR
LISTRIK MOBIL NOGOGENI EVO V**

ROHMADONI
NRP. 102115 000 001 31

Dosen Pembimbing :
Ir. Suhariyanto, MT.
NIP. 19620424 198903 1 005

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR - TM 145502

**COMPARISON POWER INPUT OF STEEL
BEARING AND CERAMIC BEARING IN ELECTRIC
MOTOR NOGOGENI EVO V CAR**

ROHMADONI
NRP. 102115 000 001 31

Counselor Lecturer :
Ir. Suhariyanto, MT.
NIP. 19620424 198903 1 005

DIPLOMA III STUDY PROGRAM
MECHANICAL INDUSTRY ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATION FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

**PERBANDINGAN DAYA INPUT BEARING BAJA (STEEL)
DAN BEARING KERAMIK PADA MOTOR LISTRIK
MOBIL NOGOGENI EVO V**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

Oleh :

Rohmadoni

NRP. 102115 000 001 31



SURABAYA, JULI 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERBANDINGAN DAYA INPUT BEARING BAJA (*STEEL*)
DAN BEARING KERAMIK PADA MOTOR LISTRIK
MOBIL NOGOGENI EVO V**

Nama Mahasiswa : Rohmadoni
NRP : 102115 000 001 31
Jurusan : Teknik Mesin Industri FV-
ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Suhariyanto, MT

Abstrak

Bearing adalah suatu komponen yang digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi pada komponen yang saling bergerak, dilakukannya pengujian perbandingan bearing baja (steel) dan bearing keramik ini untuk mengetahui bearing mana yang memiliki nilai daya input lebih kecil, sehingga nantinya dapat diaplikasikan pada mobil Nogogeni Evo V untuk menunjang konsumsi energi agar lebih efisien.

Pengujian bearing dilakukan pada motor listrik Mobil Nogogeni Evo V ini dimulai dengan pengujian daya input bearing baja (steel) dan bearing keramik serta perhitungan kerugian daya akibat gesekan, dan umur bearing.

Dapat disimpulkan bahwa bearing keramik lebih baik karena kerugian daya akibat gesekan lebih kecil yaitu 0,521 watt dan dapat menghasilkan putaran yang lebih tinggi sampai 598 rpm dengan daya input yang relatif lebih kecil yaitu 17,290 watt. Umur pakai bearing keramik lebih panjang sampai 2.563 jam (kondisi tanpa pelumasan dan tanpa pembebanan).

Kata kunci : Daya input, kerugian daya akibat gesekan, umur bearing.

Halaman ini sengaja dikosongkan

COMPARISON POWER INPUT OF STEEL BEARING AND CERAMIC BEARING IN ELECTRIC MOTOR NOGOGENI EVO V CAR

Student Name : Rohmadoni
NRP : 102115 000 001 31
Majors : Mechanical Industry
Engineering FV-ITS
Counselor Lecturer : Ir. Suhariyanto, MT

Abstract

Bearing is a component that is used to reduce friction that occurs on the component of each other moves, comparison of steel bearing and ceramic bearing to know which bearings have a smaller input power value, so that later can be applied to Nogogeni Evo V car to support energy consumption to be more efficient.

Testing of bearing on electric motors Nogogeni Evo V car starts with testing power input of steel bearing and ceramic bearing as well as calculation of power losses due to friction, and life time bearing.

Concluded that the ceramic bearings are better because smaller friction power losses of 0,521 watts and can produce higher rotation up to 598 rpm with a relatively smaller input power of 17.290 watts. The life time of ceramic bearings is longer up to 2,563 hours (condition without lubrication and without loading).

Keywords: Power input, friction power loss, life time bearing.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penyusunan Tugas Akhir yang berjudul **”PERBANDINGAN DAYA INPUT BEARING BAJA (*STEEL*) DAN BEARING KERAMIK PADA MOTOR LISTRIK MOBIL NOGOGENI EVO V”**.

Penyelesaian Tugas Akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis dan memperoleh gelar Ahli Madya dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Manufaktur di Program Studi D3 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu secara moral maupun materi, yakni:

1. Bapak Ir. Suhariyanto, MT. Selaku Koordinator Tugas Akhir dan Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bimbingan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. Selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
3. Bapak Giri Nugroho, ST, M.Sc, Selaku dosen wali selama kuliah di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.
4. Bapak Dr. Dedy Zulhidayat Noor, MT., dan Bapak Ir. Joko Sarsetiyanto, MT. Selaku dosen pembimbing tim Nogogeni ITS
5. Seluruh Dosen dan Karyawan yang telah banyak membimbing penulis dalam menggali ilmu di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

6. Bapak Sukiran dan Ibu Sri Utami serta Kakak Dwi Nurmayanti dan Tri Madona atas kasih sayang, doa, dan dukungannya kepada penulis.
7. Teman-teman kontrakan bhaskara yang telah membantu selama pengerjaan tugas akhir, Sodiq, Fafa, Aziz, Bayu, Indra, Arga, Alwi, dan Sidik.
8. Partner Tugas Akhir Dede, Gede, Fikri, Kuncoro.
9. Teman teman Nogogeni ITS Team 17/18 dan 18/19.
10. Seluruh dulur Warga Angkatan 2015 yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
11. Semua pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan do'a, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, September 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	7
2.1 Bearing	7
2.2 Klasifikasi Bearing.....	7
2.2.1 Bantalan Luncur (Journal Bearing).....	8
2.2.2 Macam-Macam Bantalan Luncur	9
2.2.2.1 Plain Bearing.....	9
2.2.2.2 Bushing.....	9
2.2.3 Bantalan Gelinding (Rolling Bearing)	10
2.2.4 Macam-Macam Bantalan Gelinding.....	10
2.2.4.1 Bantalan Gelinding Bola (Ball Bearing).....	10
2.2.4.2 Bantalan Gelinding Roll (Roller Bearing)	13
2.2.5 Perbandingan Journal Bearing dan Rolling Bearing	17
2.2.6 Pembebanan pada bearing.....	18
2.3 Perhitungan Daya Listrik.....	19

2.4 Gesekan dan Prediksi Umur Rolling Bearing	19
2.4.1 Gesekan pada Rolling Bearing	19
2.4.2 Prediksi Umur Bearing	21
2.5 Pelumasan pada bearing	24
2.5.1 Pelumasan Journal Bearing	24
2.5.1.1 Tipe pelumasan journal bearing	24
2.5.2 Pelumasan Rolling Bearing	26
2.5.3 Viskositas minyak pelumas rolling bearing	27
2.6 Pemasangan dan pelepasan bearing	29
2.6.1 Pemasangan bearing	29
2.6.2 Pelepasan Bearing	30
2.7 Nomor atau kode bearing	31
2.8 Bearing keramik.....	33
2.8.1 Material bearing keramik	34
2.9 Faktor konsumsi energi	37
BAB III METODOLOGI	41
3.1 Diagram alir percobaan (Flow Chart)	41
3.2 Tempat dan waktu pengujian.....	42
3.3 Peralatan dan bahan	42
3.3.1 Motor listrik	42
3.3.2 Baterai.....	43
3.3.3 Controller	43
3.3.4 Throttle	44
3.3.5 Joulemeter	45
3.3.6 Bearing baja (<i>steel</i>).....	45
3.3.7 Bearing keramik	46
3.3.8 Tachometer.....	46
3.3.9 Motor stand	47
3.4 Instalasi dan Skema Pengujian	47
3.5 Prosedur Pengujian	48

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4.1 Pengambilan data	54
4.2 Perhitungan daya input.....	56
4.3 Gesekan dan prediksi umur bearing	58
4.3.1 Kerugian daya akibat gesekan pada rolling bearing	58
4.3.1.1 Kerugian daya akibat gesekan pada bearing baja (<i>steel</i>)	58
4.3.1.2 Kerugian daya akibat gesekan pada bearing keramik	60
4.3.2 Prediksi umur bearing	61
4.3.2.1 Prediksi umur bearing baja (<i>steel</i>).....	62
4.3.2.2 Prediksi umur bearing keramik	63
4.4 Pelumasan Rolling Bearing	64
4.4.1 Pelumasan bearing baja (<i>steel</i>)	64
4.4.2 Pelumasan bearing keramik	67
4.5 Pembahasan	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
BIODATA	

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bearing	7
Gambar 2.2 Plain bearing	9
Gambar 2.3 Bushing	9
Gambar 2.4 Tipe-tipe Radial Ball Bearing dan beberapa karakteristik yang penting	11
Gambar 2.5 Tipe-tipe Angular Contact Ball Bearing dan beberapa karakteristik yang penting	12
Gambar 2.6 Tipe-tipe Cylindrical Roller Bearing dan beberapa karakteristik yang penting	14
Gambar 2.7 Tipe-tipe Tapered Roller Bearing dan beberapa karakteristik yang penting	15
Gambar 2.8 Tipe-tipe Needle Roller Bearing dan beberapa karakteristik penting	16
Gambar 2.9 Pembebanan pada bearing	18
Gambar 2.10 Skema pelumasan hidrostatis	25
Gambar 2.11 Skema pelumasan hidrodinamis	26
Gambar 2.12 Lokasi pelumas pada ball bearing	26
Gambar 2.13 Grafik pemilihan minyak pelumas berdasarkan viskositas	27
Gambar 2.14 Perbandingan satuan-satuan viskositas	28
Gambar 2.15 Alat bantu pemasang bearing (Nogogeni ITS Team)	29
Gambar 2.16 Alat bantu (<i>Inner bore bearing puller 3 jaws</i>)	30
Gambar 2.17 Bearing keramik	34
Gambar 2.18 Bola gelinding Silikon Nitrida (Si_3N_4)	35
Gambar 2.19 Bola gelinding Zirkonia oksida (ZrO_2)	35
Gambar 2.20 Bola gelinding Silicon Carbide (SiC)	36
Gambar 2.21 Bola gelinding Alumina Oksida (Al_2O_3)	37
Gambar 2.22 <i>Rolling resistance</i> vs tekanan angin	38

Gambar. 2.23 Aerodinamika mobil	39
Gambar 3.1 Motor listrik	43
Gambar 3.2 Baterai Lithium-ion	43
Gambar 3.3 Controller	44
Gambar 3.4 Throttle.....	44
Gambar 3.5 Joulemeter	45
Gambar 3.6 Bearing baja (<i>steel</i>).....	45
Gambar 3.7 Bearing keramik	46
Gambar 3.8 Tachometer digital.....	46
Gambar 3.9 Motor stand	47
Gambar 3.10 Rangkaian skema pengujian	47
Gambar 3.11 Rangkaian skema pengujian secara <i>riil</i>	48
Gambar 3.12 Melepas bearing bawaan pabrik	48
Gambar 3.13 Proses pemasangan bearing keramik	49
Gambar 3.14 Bearing keramik yang sudah terpasang.....	49
Gambar 3.15 Melepas bearing keramik	50
Gambar 3.16 Proses pemasangan bearing baja (<i>steel</i>).....	50
Gambar 3.17 Bearing baja (<i>steel</i>) yang sudah terpasang	51
Gambar 4.1 Dimensi bearing motor listrik Nogogeni Evo V....	53
Gambar 4.2 Motor listrik yang terpasang pada motor stand	54
Gambar 4.3 Grafik perbandingan daya input	57
Gambar 4.4 Grafik perbandingan putaran motor.....	57
Gambar 4.5 Grafik pemilihan minyak pelumas berdasarkan viskositas	65
Gambar 4.6 Perbandingan satuan-satuan viskositas	66
Gambar 4.7 Pelumas grease khusus bearing keramik.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Harga rata-rata koefisien gesek (f) bearing	19
Tabel 2.2 Ball bearing service faktor	23
Tabel 2.3 Faktor X dan Y untuk ball bearing	23
Tabel 2.3 Kode pertama (jenis bearing)	31
Tabel 4.1 Dimensi bearing baja (<i>steel</i>) dan bearing keramik	53
Tabel 4.2 Data pengujian menggunakan bearing baja (<i>steel</i>)	55
Tabel 4.3 Data pengujian menggunakan bearing keramik	55
Tabel 4.4 Perbandingan daya input dan putaran motor listrik saat menggunakan bearing baja (<i>steel</i>) dan bearing keramik	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tim Nogogeni Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) merupakan sebuah tim mobil listrik yang mengikuti salah satu perlombaan diajang internasional yaitu Shell Eco Marathon Asia (SEMA). Perlombaan tersebut merupakan perlombaan bergengsi mobil hemat energi yang diadakan oleh Shell. Pada tahun 2017, Tim Nogogeni berpartisipasi dalam kategori *Urban Concept* kelas *Battery Electric* yang diselenggarakan di Changi Exhibition Center Singapore, pada ajang tersebut Tim Nogogeni berhasil meraih juara 3 tingkat Asia dan pada tahun 2018 Tim Nogogeni kembali meraih gelar juara 2 tingkat Asia. Mobil Nogogeni dibuat sendiri oleh mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV ITS dengan melalui proses perencanaan, desain, simulasi, perhitungan dan manufaktur hingga menghasilkan sebuah mobil yang diberi nama “Nogogeni Evo V”.

Arti sebuah mobil hemat energi yaitu dengan memberikan gaya dorong untuk menggerakkan mobil hanya membutuhkan energi yang sedikit, tetapi mobil tersebut sudah dapat menempuh jarak yang cukup jauh. Hal ini sangat erat kaitannya dengan berat kendaraan, *rolling resistance*, *coeficient drag*, dan *friction*. Bila gerakan dua permukaan yang saling berhubungan terhambat, maka akan menimbulkan hambatan. Hambatan ini dikenal sebagai gesekan (*friction*).

Gesekan yang terus menerus akan menyebabkan panas yang makin lama semakin meningkat dan menyebabkan keausan pada komponen tersebut. Gesekan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan kerusakan pada komponen dan sistem tersebut tidak akan bisa beroperasi dengan normal, untuk menghindari hal tersebut dipakailah bearing.

Bearing adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengurangi gesekan pada mesin atau komponen-komponen yang bergerak dan saling menekan antara satu dengan yang lainnya. Bearing digunakan untuk menahan atau menyangga komponen-komponen yang bergerak. Biasanya dipakai untuk menyangga perputaran pada shaft, dimana terjadi banyak gesekan.

Penelitian kali ini akan dilakukan pengujian perbandingan daya input bearing baja (*steel*) jenis *high speed* dan bearing keramik jenis *high speed* pada mobil Nogogeni Evo V dan selanjutnya disebut bearing baja (*steel*) dan bearing keramik. Tujuan dari dilakukannya perbandingan bearing ini yaitu untuk mengetahui bearing mana yang memiliki nilai daya input lebih kecil, sehingga nantinya dapat diaplikasikan pada mobil Nogogeni Evo V untuk menunjang konsumsi energi agar lebih efisien.

1.2. Rumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul sebagai pertanyaan pedoman agar sesuai dengan apa yang penulis inginkan, rumusan tersebut ialah :

1. Bearing manakah yang memiliki daya input lebih kecil.
2. Berapa kerugian daya akibat gesekan pada bearing baja (*steel*) dan bearing keramik
3. Berapa umur pakai bearing baja (*steel*) dan bearing keramik.

1.3. Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam pengujian dan perbandingan bearing pada mobil Nogogeni Evo V, diperlukan batasan-batasan dengan tujuan memudahkan dalam penitik beratan permasalahan dan agar pembahasan berlangsung dengan baik. Batasan-batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pengujian ini menggunakan bearing baja (*steel*) dan bearing keramik.
2. Pengujian dilakukan pada motor listrik mobil Nogogeni Evo V (tanpa pembebanan).
3. Asumsi kedua bearing dalam keadaan baik.
4. Putaran motor listrik konstan, throttle tidak tetap.
5. Gaya-gaya yang bekerja pada bearing diabaikan.
6. Asumsi efisiensi motor 100%.
7. Asumsi faktor X dan Y pada bearing keramik dianggap sama dengan ball bearing.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang diharapkan dalam penyusunan tugas akhir ini yaitu :

1. Untuk mengetahui bearing mana yang mempunyai daya input lebih kecil.
2. Untuk mengetahui kerugian daya akibat gesekan pada bearing baja (*steel*) dan bearing keramik.
3. Untuk mengetahui umur pakai bearing baja (*steel*) dan bearing keramik.

1.5. Manfaat

Manfaat yang didapat dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mampu berkontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.
2. Memperoleh data pengujian perbandingan bearing high speed dan bearing keramik sehingga nantinya dapat dirancang sistem yang lebih baik dan efisien.
3. Dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian atau riset selanjutnya yang lebih detail pada mobil Nogogeni.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan ini akan disusun dalam bentuk bab-bab dan beberapa sub bab sebagai tambahan keterangan. Bab-bab tersebut adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini berisi tentang beberapa teori yang digunakan sebagai penunjang dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI

Pada bab inimenjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat pembahasan hasil pengujian dan perhitungan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diuraikan hasil pengujian dan perbandingan bearing secara singkat serta saran untuk kedepannya dalam pengembangan mobil Nogogeni berdasarkan tujuan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang referensi-referensi yang terkait dengan materi pembahasan berupa buku, jurnal, tugas akhir terdahulu maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

LAMPIRAN

Berisi tentang data-data tambahan yang mendukung materi tugas akhir ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Bearing

Bearing adalah suatu elemen mesin yang berfungsi untuk menumpu poros, sehingga putaran atau gerakan poros dapat berlangsung secara halus, aman, dan juga untuk memperkecil kerugian daya akibat gesekan. Bearing harus kuat dan kokoh untuk menahan beban dari poros yang terhubung dengan komponen mesin lainnya sehingga dapat berputar, bekerja sesuai dengan fungsinya. Jika bantalan tidak berfungsi dengan baik, maka prestasi seluruh sistem akan menurun bahkan bisa terhenti.



Gambar 2.1 Bearing

2.2 Klasifikasi Bearing

Berdasarkan konstruksi dan mekanisme dalam mengatasi gesekan, bearing dapat diklasifikasikan menjadi dua antara lain :

2.2.1 Bantalan Luncur (*Journal Bearing*)

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas. Bantalan luncur mampu menumpu poros berputaran tinggi dengan beban yang besar. Dengan konstruksi yang sederhana maka bantalan ini mudah untuk dibongkar pasang. Akibat adanya gesekan pada bantalan dengan poros maka akan memerlukan momen awal yang besar untuk memutar poros. Pada bantalan luncur terdapat pelumas yang berfungsi sebagai peredam tumbukan dan getaran sehingga akan meminimalisasi suara yang ditimbulkannya.

Kelebihan :

1. Mampu menumpu poros berputaran tinggi dengan beban besar.
2. Konstruksinya sederhana dan pemasangan mudah.
3. Dapat meredam tumbukan dan getaran sehingga hampir tidak bersuara.
4. Tidak memerlukan ketelitian tinggi sehingga harganya lebih murah

Kekurangan :

1. Gesekan besar pada awal putaran.
2. Memerlukan momen awal yang besar.
3. Pelumasannya tidak begitu sederhana.
4. Panas yang timbul dari gesekan besar , memerlukan pendinginan khusus.

2.2.2. Macam-Macam Bantalan Luncur (*Journal Bearing*)

2.2.2.1 Plain Bearing

Merupakan bearing yang memiliki permukaan rata pada bidang geseknya meskipun bentuk bearingnya melengkung seperti setengah lingkaran. Plain bearing umumnya terbuat dari beberapa campuran tembaga kuningan yang pada bagian permukaannya dilapisi dengan logam babbit. Biasanya diaplikasikan pada bagian *crankshaft & connecting rod*.



Gambar 2.2 Plain bearing

2.2.2.2 Bushing

Merupakan salah satu jenis bantalan luncur dengan bentuk melingkar seperti cincin. Bushing ini biasanya digunakan sebagai tempat poros berputar. Contoh bushing ini untuk King Pin pada *knucke* as roda.



Gambar 2.3 Bushing

2.2.3 Bantalan Gelinding (*Rolling Bearing*)

Pada bantalan gelinding terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti bola (peluru), rol atau rol jarum atau rol bulat. Bantalan gelinding lebih cocok untuk beban kecil. Putaran pada bantalan gelinding dibatasi oleh gaya sentrifugal yang timbul pada elemen gelinding tersebut. Apabila ditinjau dari segi biaya, bantalan gelinding lebih mahal dari bantalan luncur.

Kelebihan:

1. Keausan dan panas yang ditimbulkan berkurang
2. Gesekan yang terjadi relatif konstan
3. Pemakaian pelumas minimum
4. Dimensi lebar kecil

Kekurangan :

1. Untuk beban kejut bearing lebih cepat rusak
2. Lebih sensitif terhadap debu dan kelembaban
3. Memerlukan perawatan rutin
4. Harga lebih mahal

2.2.4 Macam-Macam Bantalan Gelinding (*Rolling Bearing*)

2.2.4.1 Bantalan Gelinding Bola (*Ball Bearing*)

1. Radial Ball Bearing (Bantalan gelinding bola radial)

- Deep Groove Ball Bearing

Bearing ini dimaksudkan untuk menahan beban radial, tetapi dengan adanya alur yang dalam, dapat menahan beban aksial (sampai 70%) karena penempatan bola yang masuk lebih dalam.

Type	Approx Range of Bore Sizes (in.)	Relative Capacity		Limiting Speed Factor	Tolerance to Misalignment		
		Min	Max			Radial	Thrust
Conrad or deep groove		0.1181	41.732	1.00	0.7 (2-direction)	1.0	$\pm 0^{\circ}15'$
Maximum capacity or filling notch		0.3937	5.1181	1.2-1.4	0.2 (2-direction)	1.0	$\pm 0^{\circ}3'$
Magneto or counter-bored outer		0.1181 0.3937	1.181 7.874	0.9-1.3	0.5-0.9 (1-direction)	1.0	$\pm 0^{\circ}5'$
Airframe or aircraft control		0.1900	1.250	High static capacity	0.5 (2-direction)	0.2	0°
Self-aligning internal		0.1969	4.7244	0.7	0.2 (1-direction)	1.0	$\pm 2^{\circ}30'$
Self-aligning external		—	—	1.0	0.7 (2-direction)	1.0	High
Double row, maximum		0.3937	4.3307	1.5	0.2 (2-direction)	1.0	$\pm 0^{\circ}3'$
Double row, deep groove		0.3937	4.3307	1.5	1.4 (2-direction)	1.0	0°

Gambar 2.4. Tipe-tipe Radial Ball Bearing dan beberapa karakteristik yang penting

- Double Row Ball Bearing

Bearing ini mempunyai kemampuan menyesuaikan diri bila terjadi ketidaksesuaian atau ketidaksenteran antara sumbu poros dengan sumbu bearing akibat adanya defleksi poros atau perubahan pondasi.

- Self Aligning Ball Bearing

Bearing ini mempunyai dua deret bola yang bertujuan menaikkan kemampuan untuk mendukung beban radial maupun aksial.

2. Angular Contact Ball Bearing (Bantalan gelinding bola radial kontak menyudut)

Bearing ini secara umum mempunyai dua kategori yaitu dengan kemampuan menerima beban aksial satu arah saja dan kemampuan menerima beban aksial dua arah.

Type		Approx Range of Bore Sizes (in.)		Relative Capacity		Limiting Speed Factor	Tolerance to Misalignment
		Min	Max	Radial	Thrust		
One-directional thrust		0.3937	12.5984	1.00-1.15*	1.5-2.3* (1-direction)	1.1-3.0*	$\pm 0^{\circ}2'$
Duplex, back-to-back		0.3937	12.5984	1.85	1.5 (2-direction)	3.0	0°
Duplex, face-to-face		0.3937	12.5984	1.85	1.5 (2-direction)	3.0	0°
Duplex, tandem		0.3937	12.5984	1.85	2.4 (1-direction)	3.0	0°
Two directional or split ring		0.3937	4.3307	1.15	1.5 (2-direction)	3.0	$\pm 0^{\circ}2'$
Double row		0.3937	5.5118	1.5	1.85 (2-direction)	0.8	0°
Double row, maximum		0.3937	4.3307	1.65	0.5 (in 1 direction) 1.5 (in other direction)	0.7	0°

*Depends on contact angle.

Gambar 2.5. Tipe-tipe Angular Contact Ball Bearing dan beberapa karakteristik yang penting

3. Thrust Ball Bearing (Bantalan gelinding bola aksial)

Jenis bantalan putar khusus yang memungkinkan rotasi antar bagian bisa lancar, kegunaan bearing ini dirancang untuk mendukung beban aksial yang tinggi.

- **One directional flat race**
Terdiri dari bantalan bola yang disusun di dalam cincin/ring, dapat digunakan dalam beban aksial rendah di mana ada sedikit beban radial. Cincin/ring berbentuk datar. Diameter bola paling kecil 2 mm sampai terbesar 340 mm
- **One directional grooved race**
Sama halnya seperti *one directional flat race*, namun yang membedakan hanya cincin/ringnya beralur.

2.2.4.2 Bantalan Gelinding Roll (*Roller Bearing*)

Bearing dengan rol ini, mempunyai kegunaan yang sama seperti bearing dengan bola, tetapi bearing ini dapat menerima beban radial yang lebih besar (dalam ukuran yang sama). Hal ini dimungkinkan karena kontak antara rol dengan ring lebih besar yaitu berupa garis, tidak berupa titik seperti pada ball bearing. Bearing ini tidak dapat menerima beban aksial, kecuali bearing dengan rol bola (spherical) dan rol tirus (taper). Tipe bearing ini dibagi dalam 3 jenis, yaitu :

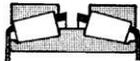
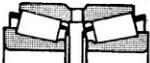
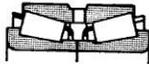
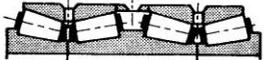
- **Cylindrical Roller Bearing**
- **Tapered Roller Bearing**
- **Needle Roller Bearing**

1. Cylindrical Roller Bearing

Type	Approx. range of bore sizes (in.) Min. Max.	Relative capacity		Limiting speed factor	Tolerance to misalignment
		Radial	Thrust		
Separable outer ring, nonlocating RN, RIN	0.3937 12.5684	1.56	0	1.20	$\pm 0^{\circ}5'$
Separable inner ring, nonlocating RI, RIU	0.4724 19.6850	1.56	0	1.20	$\pm 0^{\circ}5'$
Separable outer ring, one-direction locating RF, RIF	1.5748 7.000	1.56	Locating (1-direction)	1.15	$\pm 0^{\circ}5'$
Separable inner ring, one-direction locating FJ, RIJ	0.4724 12.5684	1.56	Locating (1-direction)	1.15	$\pm 0^{\circ}5'$
Self-contained two-direction locating	0.4724 3.9370	1.36	Locating (2-direction)	1.15	$\pm 0^{\circ}5'$
Separable inner ring, two-direction locating RT, RIT	0.7874 12.5984	1.56	Locating (2-direction)	1.15	$\pm 0^{\circ}5'$
Nonlocating, full complement RK, RIK	0.6693 2.9528	2.10	0	0.20	$\pm 0^{\circ}5'$
Double-row, separable outer ring, nonlocating RD	1.1811 41.7323	1.85	0	1.00	0°
Double row, separable inner ring, nonlocating	2.7559 41.7323	1.85	0	1.00	0°

Gambar 2.6. Tipe-tipe Cylindrical Roller Bearing dan beberapa karakteristik yang penting

2. Tapered Roller Bearing

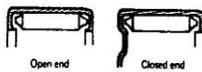
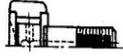
Type	Subtype	Approx Range of Bore Sizes (in.)	
Single row TS 	TST—tapered bore TSS—steep angle TS—pin cage TSE, TSK—keyway cones TSF, TSSF—flanged cup TSG—steering gear (without cone)	0.3125 0.9375 0.6250 0.4720 0.3125	66.5000 17.0000 50.0000 14.8750 42.0000
Two row, double cone, single cups TDI 	TDIK, TDIT, TDITP—tapered Bore TDIE, TDIKE—slotted double cone TDIS—steep angle	1.1875 1.1866 0.9375 2.1650	47.2500 33.7656 27.0030 20.5000
Two row, double cup, single cones, adjustable TDO 	TDOC, TDOD (only one lubricant hole in cup) TDOS—steep angle	0.3125 0.9600 0.7500	72.0000 56.3750 56.3750
Two row, double cup, single cones, nonadjustable TNA 	TNAD, TNADC (only one lubricant hole in cup) TNASW—slotted cones TNAU, TNASWE—extended cone rib TNAH, TNASWH—slotted cones, sealed TNAS—steep angle	0.7500 1.3125 1.1805 0.7500 0.3125 0.7500	24.0000 24.0000 10.2500 12.0000 2.7559 4.5000
Four row, cup adjusted, TGO 	TQOK, TQOT—tapered bore	2.7500 9.7500	47.2500 47.2500
Four row, cup adjusted, TGI 	TQIK, TQIT—tapered bore	—	—

Gambar 2.7. Tipe-tipe Tapered Roller Bearing dan beberapa karakteristik yang penting

Bearing jenis ini direncanakan untuk dapat menerima beban radial yang besar atau beban aksial yang besar, atau bisa kombinasi beban radial dan beban aksial yang besar, dalam putar menengah sampai putaran yang tinggi. Bearing ini mempunyai satu deret rol tirus yang dipakai untuk menerima beban aksial

dalam satu arah, dengan demikian bila beban aksial dua arah, maka harus ditambah satu bearing tirus lagi dengan pemasangan berlawanan arah. Atau dapat pula langsung digunakan bearing tirus dengan dua deret rol atau empat deret rol.

3. Needle Roller Bearing

Type	Bore Sizes (in.)		Relative Load Capacity		Limiting Speed Factor	Misalignment Tolerance
	Min	Max	Dynamic	Static		
Drawn cup, needle  Open end Closed end	0.125	7.250	High	Moderate	0.3	Low
Drawn cup, needle, grease retained 	0.156	1.000	High	Moderate	0.3	Low
Drawn cup, roller  Open end Closed end	0.187	2.750	Moderate	Moderate	0.9	Moderate
Heavy-duty roller 	0.625	9.250	Very high	Moderate	1.0	Moderate
Caged roller 	0.500	4.000	Very high	High	1.0	Moderate
Cam follower 	0.500	6.000	Moderate to high	Moderate to high	0.3-0.9	Low
Needle thrust 	0.252	4.127	Very high	Very high	0.7	Low

Gambar 2.8. Tipe-tipe Needle Roller Bearing dan beberapa karakteristik penting

2.2.5 Perbandingan Journal Bearing dan Rolling Bearing

1. Journal Bearing

Pada bearing ini terjadi gesekan luncur antara poros dan permukaan bearing bagian dalam. Karena gesekannya yang besar terutama pada saat mulai jalan, maka bearing luncur memerlukan momen awal yang besar. Untuk memperkecil gesekan, panas yang timbul dan kerugian daya yang terjadi maka diperlukan pelumasan. Pelumasan pada bearing ini lebih kompleks dari pada pelumasan pada bearing gelinding. Bila panas yang timbul masih terlalu tinggi maka diperlukan pendinginan khusus.

Bearing ini cocok dipakai untuk beban besar, putaran rendah. Bearing ini sederhana konstruksinya dan dapat dibuat serta dipasang dengan mudah. Tingkat ketelitian yang diperlukan tidak setinggi Rolling Bearing sehingga harganya dapat lebih murah.

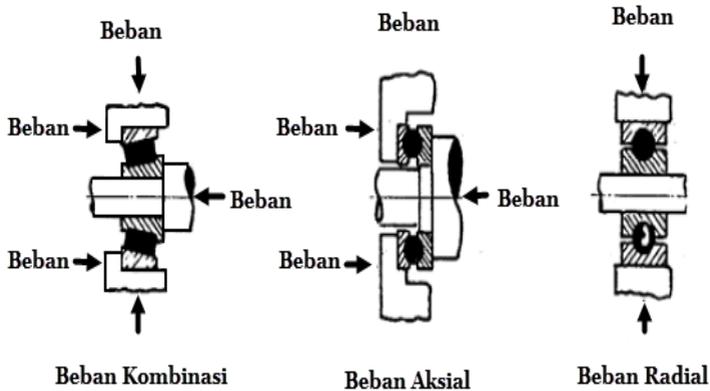
2. Rolling Bearing

Pada bearing ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding yang berbentuk bola atau peluru, rol atau rol jarum dan rol bulat. Gesekan yang terjadi sangat rendah dan pelumasannya sangat sederhana, cukup dengan gemuk, bahkan pada bearing tertentu yang memakai seal sendiri tak perlu pelumasan lagi.

Rolling Bearing pada umumnya lebih cocok dipakai untuk beban kecil putaran tinggi, tergantung pada bentuk elemen gelindingnya. Karena konstruksinya yang kompleks dan ketelitiannya yang tinggi maka harganya lebih mahal dari pada Journal Bearing.

2.2.6 Pembebanan pada bearing

Berdasarkan arah beban terhadap poros yang ditumpu yaitu ada tiga macam pembebanan pada bearing, yaitu :



Gambar 2.9 Pembebanan pada bearing

1. **Beban Radial**

Arah beban yang ditumpu bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros.

2. **Beban Aksial**

Arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.

3. **Beban Gelinding Khusus**

Gabungan dari beban radial dan aksial, bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.

2.3 Perhitungan Daya Listrik

Perhitungan daya listrik dapat kita ketahui dengan rumus daya listrik secara umum yang sering digunakan dan dipakai dalam menghitung sebuah rangkaian listrik yaitu :

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : P = Daya listrik (Watt)
V = Voltase listrik (Volt)
I = Arus listrik (Ampere)

2.4 Gesekan dan Prediksi Umur Rolling Bearing

2.4.1 Gesekan pada Rolling Bearing

Walaupun Rolling Bearing disebut bearing anti gesekan (*anti friction bearing*), tetapi karena adanya beban dan putaran, akan timbul gesekan diantara komponen bearing, yaitu : ring luar, bola atau rol, dan ring dalamnya. Koefisien gesek (f) dapat dilihat pada Tabel 2.1 yang didasarkan atas tipe bearingnya, serta kondisinya, dan koefisien gesek ini dihasilkan dari penelitian yang bertahun-tahun.

Tabel. 2.1. Harga rata-rata koefisien gesek (f) pada bearing

No	Tipe Bearing	Start		Selama Berputar	
		Radial	Aksial	Radial	Aksial
1	Ball Bearing	0,0025	0,0060	0,0015	0,0040
2	Spherical Roller Bearing	0,0030	0,1200	0,0018	0,0080
3	Cylindrical Roller Bearing	0,0020	-	0,0011	-

(Sumber : *Deutschman, 1975 : 482*)

Akibat adanya gesekan ini, akan menyebabkan kehilangan daya, secara pendekatan kehilangan daya tersebut dapat dihitung dengan rumus : (*Sumber : Deutschman, 1975 : 482*)

$$f_{HP} = \frac{T_f \cdot n}{63.025} = \frac{f \cdot F_r \cdot d \cdot n}{126.050} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana : f_{HP} = Daya yang hilang karena gesekan (HP)
 T_f = Torsi akibat gesekan (lbf.in)
 F_r = Gaya radial pada bearing (lbf)
 f = Koefisien gesek (Tabel 1.1)

$$P = \frac{F_e \cdot v}{102} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana : P = Daya (kW)
 v = Kecepatan keliling (m/s)
 F_e = Gaya radial (lbf)

Besarnya kecepatan keliling atau kecepatan linier yang biasa dilambangkan v dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \times 1000} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : d = diameter (mm)
 v = Kecepatan keliling (m/s)
n = putaran poros (rpm)

2.4.2 Prediksi Umur Bearing

Dengan asumsi putaran konstan, maka prediksi umur bearing dapat ditulis dengan persamaan:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^b \times \frac{10^6}{60.n} \dots\dots\dots(2.5)$$

- dimana : L_{10h} = Umur bearing, jam-kerja
C = Beban dinamis (lbf) , (dapat dilihat dari tabel)
n = putaran poros (rpm)
P = Beban Ekvivalen (equivalent load)
b = konstanta yang tergantung tipe beban
(b = 3 untuk ball bearing)
(b = 3,33 untuk rolling bearing)

Sesuai dengan definisi dari AFBMA (Anti Friction Bearing Manufacturers Association) yang dimaksud dengan beban ekuivalen adalah beban radial yang konstan yang bekerja pada bearing dengan ring dalam yang berputar / ring dalam yang berputar, yang akan memberikan umur yang sama, seperti bila bearing bekerja dengan kondisi nyata untuk beban dan putaran yang sama.

Dalam kenyataannya bearing biasanya menerima beban kombinasi antara beban radial dan beban aksial, serta pada suatu kondisi ring dalam yang tetap sedangkan ring luarnya yang berputar. Sehingga persamaan beban ekuivalen (P) setelah adanya koreksi tersebut, menjadi :

$$P = V.X.F_r + Y.F_a \dots\dots\dots(2.6)$$

- dimana : P = beban ekivalen (lbf)
 F_r = beban radial (lbf)
 F_a = beban aksial (lbf)
 V = faktor putaran (konstan) bernilai :
= 1,0 untuk ring dalam berputar
= 1,2 untuk ring luar yang berputar
 X = konstanta radial (dari tabel, dapat dilihat pada lampiran)
 Y = konstanta aksial (dari tabel, dapat dilihat pada lampiran)

Cara memilih harga X dan Y dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Cari terlebih dahulu harga : $i.F_a/C_o$
 i = jumlah deret bearing
2. Kemudian dari harga ini, ditarik garis ke kanan sampai pada kolom e , sehingga didapat harga e .
3. Cari harga : $F_a/(V.F_r)$, dan bandingkan dengan harga e , akan diperoleh kemungkinan : $F_a/(V.F_r) < e$ atau $F_a/(V.F_r) = e$ atau $F_a/(V.F_r) > e$.
4. Dari perbandingan harga tersebut, maka akan didapatkan harga X dan Y dari kolom : $F_a/(V.F_r) \leq e$ atau $F_a/(V.F_r) > e$. Khusus untuk deret satu (single row bearing) , bila harga $F_a/(V.F_r) \leq e$, maka $X = 1$ dan $Y = 0$.
5. Dapat dibantu dengan Interpolasi atau Extrapolasi.

Bila faktor beban kejut dimasukkan maka persamaan (2.3) akan menjadi :

$$P = F_s (V.X.F_r + Y.F_a) \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana : F_s = konstanta kondisi beban (lihat Tabel 2.2)

Tabel 2.2. Ball bearing service factors, F_s

No.	Type of service	Multiply calculated load by following factors	
		Ball Bearing	Roller Bearing
1	Uniform and steady load	1,0	1,0
2	Light shock load	1,5	1,0
3	Moderate shock load	2,0	1,3
4	Heavy shock load	2,5	1,7
5	Extreme and indefinite shock load	3,0	2,0

Tabel. 2.3 Faktor X dan Y untuk Ball Bearing

(i.Fa/Co)	Single-Row Bearing				Double-Row Bearing				e
	(Fa/V.Fr) <e		(Fa/V.Fr) >e		(Fa/V.Fr) <e		(Fa/V.Fr) >e		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
Radial Contact Ball Bearing									
0,014	1	0	0,56	2,30	1	0	0,56	2,30	0,19
0,028				1,99				0,22	
0,056				1,71				0,26	
0,084				1,55				0,28	
0,110				1,45				0,30	
0,170				1,31				0,34	
0,280				1,15				0,38	
0,420				1,04				0,42	
0,560				1,00				0,44	

Catatan : $(F_a/V.F_r) = e$, maka : $X = 1$ dan $Y = 0$ (Single Row Bearing)

Sumber : Deutschman, 1975

2.5 Pelumasan pada Bearing

Pelumasan adalah cara yang dilakukan untuk mengurangi gaya gesek yang terjadi antara dua permukaan yang saling bergesekan dengan cara memberi minyak pelumas (oil/grease). Pelumas didefinisikan sebagai zat yang disisipkan diantara dua permukaan yang saling bergesekan untuk mengurangi besarnya gaya gesek yang terjadi. Gaya gesek merupakan gaya perlawanan yang terjadi akibat adanya dua permukaan yang bergesekan.

Pelumasan sangat penting untuk mengurangi gaya gesek, menurunkan tingkat keausan, mengurangi timbulnya panas, mengurangi pemuaihan dan ikut membantu kebersihan diantara dua logam yang bergesekan.

2.5.1 Pelumasan Journal Bearing

Dalam pemilihan cara pelumasan sangat perlu diperhatikan konstruksi, kondisi kerja, dan letak bearing. Tempat pelumasan, bentuk serta kekasaran alur juga merupakan faktor-faktor penting. Jadi cara pelumasan yang tepat juga banyak didasarkan pada pengalaman.

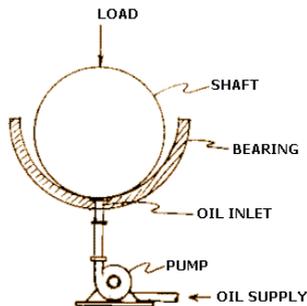
2.5.1.1 Tipe Pelumasan Journal Bearing

Dalam pelaksanaan pelumasan untuk journal bearing dikenal ada dua tipe yaitu Pelumasan Hidrostatik dan Pelumasan Hidrodinamis.

1. Pelumasan Hidrostatik

Pada pelumasan hidrostatik ini menggunakan pompa tekanan tinggi yang akan menekan minyak pelumas ke bagian-bagian yang bergerak. Diperlukan tekanan yang besar terjadi pada lapisan tipis minyak pelumas di antara poros dan bantalan misalnya. Tekanan tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan pompa tekanan tinggi yang akan menekan minyak pelumas ke bagian-bagian yang bergesek, bukan sekedar pompa tekanan rendah yang berfungsi hanya sebagai pendistribusi minyak pelumas.

Pelumasan hidrostatik disebut juga pelumasan tekanan luar karena tekanan yang timbul diakibatkan pengaruh kerja dari luar sistem. Setelah poros berputar dengan kecepatan tinggi biasanya pompa tekanan tinggi yang digunakan dapat dihentikan sementara pompa tekanan rendah sebagai pemasok minyak pelumas terus difungsikan

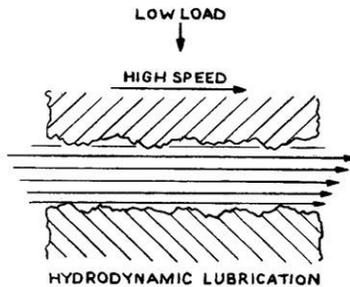


Gambar. 2.10 Skema pelumasan hidrostatik

2. Pelumasan Hidrodinamis

Secara sederhana tipe pelumasan hidrodinamis dapat didefinisikan sebagai suatu sistem pelumasan diantara dua bidang

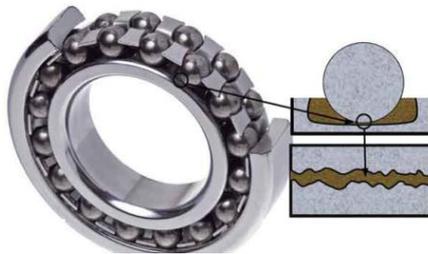
yang saling bergerak relatif, yang akan menghasilkan daya angkat bagi kedua bidang tersebut yang cukup mampu untuk mendukung beban yang terdapat pada kedua bidang tersebut, sehingga kedua bidang yang terdiri dari metal tidak saling bergesekan.



Gambar. 2.11 Skema pelumasan hidrodinamis

2.5.2 Pelumasan Rolling Bearing

Unjuk kerja yang baik (*satisfactory performance*) dari rolling bearing sangat tergantung pada penggunaan pelumas yang tepat, frekuensi pelumasan, rumah bearing dan saluran pelumasan.

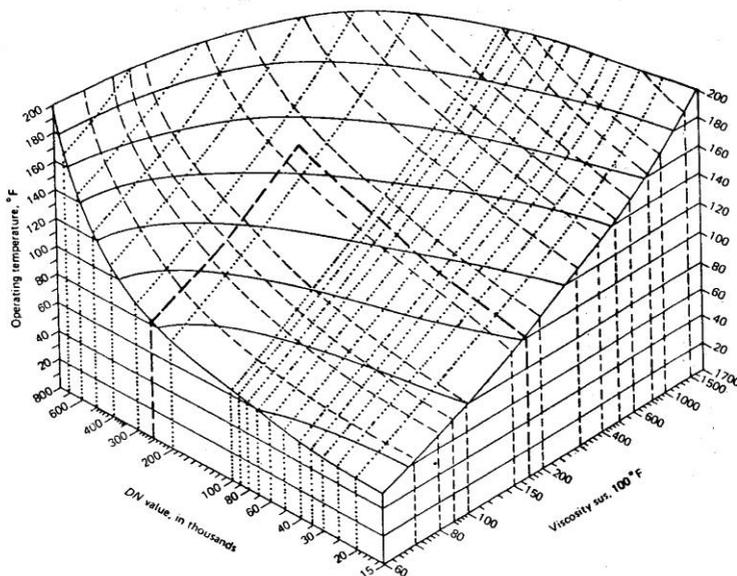


Gambar 2.12 Lokasi pelumas pada ball bearing

Pelumas yang dapat dipakai untuk rolling bearing yaitu grease dan oli. Pelumasan dengan grease baik digunakan untuk putaran yang rendah, sedangkan metode pelumasan dengan oli sangat banyak variasinya tergantung dari pembuat yang merencanakannya. Salah satu cara yang sederhana adalah berdasarkan viskositasnya.

2.5.3 Viskositas Minyak Pelumas untuk Rolling Bearing

Pada sub bab ini akan dibahas tentang besarnya viskositas yang diperlukan untuk viskositas minyak pelumas untuk rolling bearing dan dengan SAE berapa yang sesuai. Untuk mencari minyak pelumas berdasarkan viskositas dapat dilihat pada (Gambar 2.13).



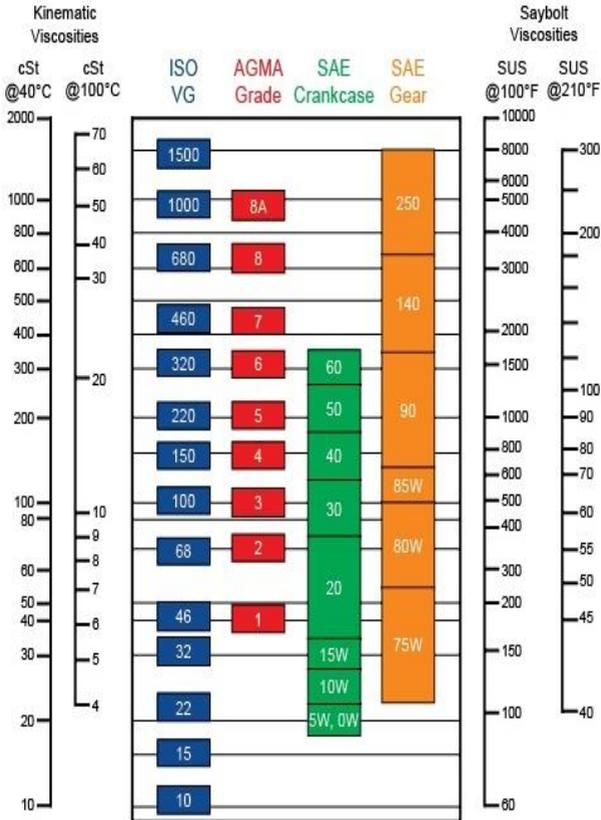
Gambar 2.13 Grafik pemilihan minyak pelumas berdasarkan viskositas

Untuk mencari harga DN dapat dicari dengan rumus :

$$\text{DN Value} = D \times N \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana : D = Diameter bearing (mm)

N = Putaran (rpm)



Gambar 2.14 Perbandingan satuan-satuan viskositas

2.6 Pemasangan dan Pelepasan Bearing

Ketrampilan dan kebersihan ketika pemasangan ataupun saat melepas bearing adalah syarat awal untuk menjamin bearing tidak rusak lebih awal/akhir. Pemasangan atau pelepasan seharusnya pada kondisi bebas debu, pada ruangan yang kering dan bebas dari sisa-sisa logam bekas proses produksi. Juga penting bahwa bearing yang akan dipasang pada kondisi masih dalam kemasan untuk menjaga agar bearing tidak kotor.

2.6.1 Pemasangan Bearing

Sebelum melakukan pemasangan bearing, bersihkan rumah & permukaan benda yang akan dipasang bearing dari kotoran (debu,gram,dll). Sebelum pemasangan sebaiknya diberi pelumas berupa oli/gemuk pada rumah bearing atau permukaan bearing.



Gambar. 2.15 Alat bantu pasang bearing (Nogogeni ITS Team)

Alat ini khusus untuk mempermudah pemasangan bearing pada mobil Nogogeni Evo V, prinsip kerja alat bantu ini dengan memanfaatkan ulir baut dan mur untuk menekan/mengepress bagian luar bearing (*outer diameter*) sehingga dapat terpasang secara sempurna. Dengan menggunakan alat ini menjamin tidak merusak bearing karena tidak adanya hentakan/pukulan.

2.6.2 Pelepasan Bearing

Jika bearing akan dipakai lagi setelah dilepaskan, maka pelepasannya harus lebih berhati-hati supaya nanti tidak merusak bearing . Maka dari itu digunakan alat bantu untuk mempermudah melepas bearing dengan memanfaatkan ulir baut dan mur untuk menarik keluar bearing yang terpasang pada rumah bearing dengan mencekam bagian dalam bearing (*inner diameter*) . Dengan menggunakan alat ini menjamin tidak merusak bearing karena tidak adanya hentakan/pukulan.



Gambar. 2.16 Alat bantu (*Inner bore bearing puller 3 jaws*)

2.7 Nomor atau Kode Bearing

Dalam praktek, bantalan gelinding standar dipilih dari katalog bantalan. Ukuran utama bantalan gelinding adalah diameter lubang, diameter luar, lebar dan lengkungan sudut. Pada umumnya, diameter lubang diambil sebagai patokan utama. Berikut penjelasan urutan kode bearing :

1. Kode pertama (jenis bearing)

Angka pertama adalah kode untuk jenis bearing. Perlu diingat bahwa bila kode pertama adalah angka, berarti satuan yang dipakai merupakan satuan metrik, sedangkan bila menggunakan huruf, berarti menggunakan satuan non metrik (inchi).

Tabel. 2.3 Kode pertama (Jenis bearing)

No.	Jenis Bearing
0	Angular contact ball bearing double row
1	Self-aligning ball bearing
2	Spherical roller and spherical roller thrust bearing
3	Taper roller bearings
4	Deep groove ball bearings, double row
5	Thrust ball bearing
6	Deep groove ball bearings, single row
7	Angular contact ball bearings, single row
8	Cylindrical roller thrust bearing

2. Kode Kedua (Seri bearing)

Kode kedua menyatakan seri bearing untuk menyatakan ketahanan bearing tersebut. Seri penomoran yaitu mulai dari

ketahanan yang paling ringan sampai paling berat, berikut urutannya:

- 0 = Untuk beban yang sangat ringan (Extra light)
- 1 = Untuk beban yang sangat ringan (Extra light thrust)
- 2 = Untuk beban yang ringan (Light)
- 3 = Untuk beban yang sedang (Medium)
- 4 = Untuk beban yang berat (Heavy)

3. Kode Ketiga dan Keempat (Diameter dalam bearing)

Untuk kode 0 sampai dengan 3, maka diameter bore bearing adalah sebagai berikut :

- 00 = diameter dalam 10mm
- 01 = diameter dalam 12mm
- 02 = diameter dalam 15mm
- 03 = diameter dalam 17mm

Selain kode nomor 0 sampai 3, misalnya 4, 5 dan seterusnya maka diameter bore bearing dikalikan dengan angka 5. Misal 04 maka diameter bore bearing = 20 mm

4. Kode Terakhir (Jenis bahan penutup bearing)

Kode terakhir merupakan jenis bahan yang digunakan untuk penutup/seal bearing. Berikut kode bahan :

- Z Single shielded (bearing ditutupi plat tunggal)
- ZZ Double shielded (bearing ditutupi plat ganda)
- RS Single sealed (bearing ditutupi seal karet)
- 2RS Double sealed (bearing ditutupi seal karet ganda)

- V Single non-contact seal
- VV Double non-contact seal
- DDU Double contact seals
- NR Snap ring and groove
- M Brass cage

5. Kode Kerenggangan

Merupakan kerenggangan antara bola/rol dengan alur tempat bola/rol tersebut bergerak. Adapun bearing yang terdapat kode C2,C3,C5 maka semakin besar angkanya berarti toleransi kerenggangan antar komponen bearing makin besar. Satuan kerenggangan atau clearance adalah mikron. Satu mikron sama dengan 1/1.000 mm.

2.8 Bearing Keramik

Bantalan bola anti friction yang seluruhnya terbuat dari material keramik. Bearing ini memiliki nilai koefisien gesek 25% lebih kecil dari material baja (*steel*). Bahan ring bagian dalam atau luar dan bola umumnya terbuat dari Silikon Nitrida (Si₃N₄), Zirkonium Oksida (ZrO₂), Alumina Oksida (Al₂O₃) atau Silikon karbida (SiC). Bearing tipe ini banyak dipakai untuk putaran tinggi dengan beban yang relatif ringan. Pada umumnya bearing keramik memiliki kode C5.

Kelebihan :

- Tahan terhadap korosi
- Noise dan getaran rendah
- Mengurangi konsumsi energi
- Pelumas yang dibutuhkan sedikit
- Rendah gesekan
- Kecepatan tinggi

Kekurangan :

- Harga lebih mahal
- Mudah pecah
- Perawatan intensif



Gambar 2.17 Bearing Keramik

2.8.1 Material Bearing Keramik

Bahan untuk membuat bearing keramik (ring luar, ring dalam dan bola gelinding) dapat dikombinasikan sesuai kebutuhan dan pengaplikasiannya, berikut pemilihan bahan bearing keramik :

1. Silikon Nitrida (Si₃N₄)

Ketangguhan fraktur yang sangat baik pada suhu tinggi dan ketahanan termal dan kejutan yang baik. Pada umumnya berwarna hitam pekat mengkilat dengan ukuran bola gelinding berkisar 0,80-76,20 mm.



Gambar 2.18 Bola gelinding Silikon Nitrida (Si_3N_4)

2. Zirkonia Oksida (ZrO_2)

Zirkonia oksida memiliki kekuatan dan ketangguhan tertinggi pada suhu kamar dari pada bahan keramik lainnya. Ukuran butiran halus memungkinkan permukaan yang sangat halus. Bola gelinding jenis ini bewarna putih bersih atau mengkilat, ukuran bola gelinding ini antara 0,80-25,40 mm.



Gambar 2.19 Bola gelinding Zirkonia oksida (ZrO_2)

3. Silicon Carbide (SiC)

Bola silikon karbida lebih jarang digunakan dari pada material keramik lainnya karena biaya bahan baku dan kesulitan mesin, silikon karbida menawarkan ketahanan panas dan korosi terbaik dari semua bahan keramik. Silicon Carbide paling baik digunakan di bawah beban rendah, kecepatan rendah hingga sedang dan dalam lingkungan yang sangat korosif. Umumnya bola ini berwarna hitam dengan ukuran bola gelinding 1,00- 19,05 mm.



Gambar 2.20 Bola gelinding Silicon Carbide (SiC)

4. Alumina Oksida (Al₂O₃)

Alumina Oksida digunakan untuk meningkatkan performa bantalan. Alumina Oxide Balls lebih ringan, lebih kaku, lebih halus, lebih keras, tahan korosi, membutuhkan pelumasan yang lebih sedikit, dan memiliki ekspansi termal yang lebih rendah daripada baja (*steel*) yang memungkinkan bearing berputar pada kecepatan yang lebih tinggi dan suhu operasional yang lebih tinggi dengan torsi yang lebih rendah. Warna bola ini seperti mutiara putih pekat dengan ukuran bola gelindingnya 1,00-50,80 mm.



Gambar 2.21 Bola gelinding Alumina Oksida (Al_2O_3)

Berikut merupakan tabel perbandingan material bearing baja (*steel*) dan bearing keramik. Dapat dilihat pada Lampiran II.

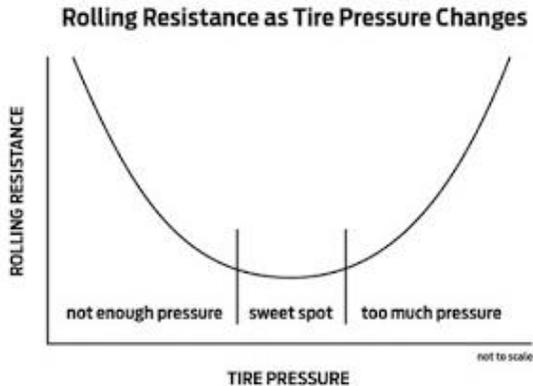
2.9 Faktor Konsumsi Energi

Konsumsi energi pada mobil Nogeni Evo V sangat erat kaitannya dengan *Rolling resistance*, *Coefficient drag*, *Engine*, Bobot kendaraan dan *Friction*. Berikut penjelasan singkatnya :

1. Rolling Resistance

Rolling resistance adalah gaya hambat pada ban yang perlu dikompensasi dengan gaya (tenaga mesin) untuk mempertahankan kecepatan. Permisalan yaitu saat mengendarai sepeda di jalan yang datar, pada saat kaki berhenti mengayuh pada kecepatan tertentu maka sepeda akan semakin pelan sampai akhirnya berhenti dengan sendirinya, penyebab dari perlambatan kecepatan tersebut ialah *rolling resistance*. Faktor-faktor yang menentukan *rolling resistance* yaitu :

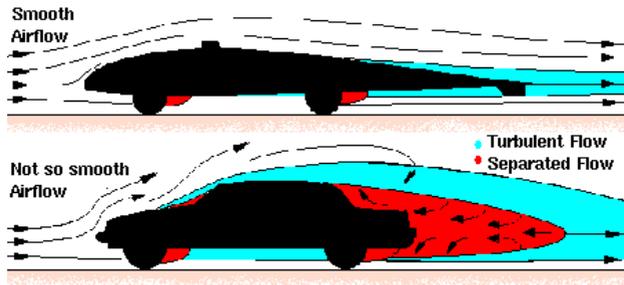
- Diameter ban (makin besar makin kecil RR)
- Lebar ban (makin lebar makin kecil RR)
- Tekanan ban (tekanan yang sesuai)



Gambar. 2.22 *Rolling resistance* vs tekanan angin

2. Coefficient Drag

Coefficient of Drag (CD) adalah besaran dimensi yang digunakan untuk mengukur drag atau hambatan dari obyek dalam lingkungan fluida (udara atau air). Satuan CD dibuat untuk mengukur nilai hambatan udara kendaraan yang bergerak cepat. Body mobil Nogogeni Evo V didesign secara aerodinamis untuk memperkecil nilai CD, hal ini dilakukan agar kendaraan tidak perlu mengeluarkan tenaga lebih untuk membelah angin saat berjalan, hal itu akan membuat konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih irit.



Gambar. 2.23 Aerodinamika mobil

3. Engine

Engine merupakan penggerak utama pada sebuah kendaraan. Engine pada mobil Nogogeni Evo V menggunakan motor listrik tipe Brush DC 48 volt dengan kondisi standart tanpa adanya modifikasi.

4. Bobot Kendaraan

Berat kendaraan juga berpengaruh terhadap efisiensi mobil, semakin ringan berat kendaraan maka semakin kecil juga daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil, begitupun sebaliknya. Bobot kendaraan menyangkut dari segi rangka (*chassis*), *body* dan *engine*.

5. Gaya gesek (*friction*)

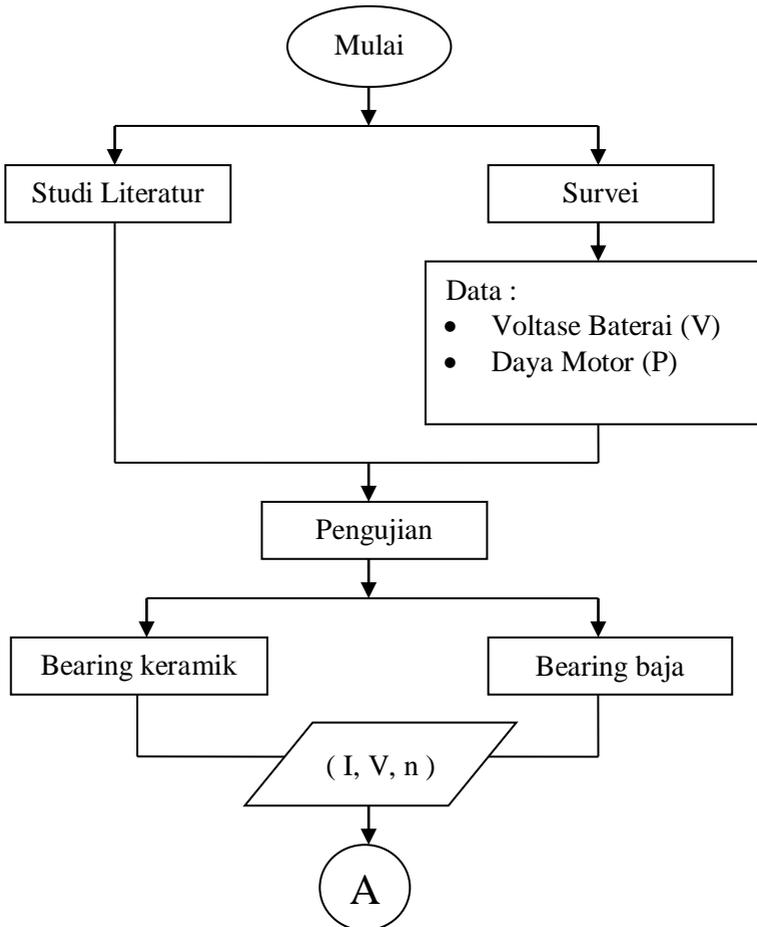
Gaya gesek (*friction*) adalah gaya yang timbul karena dua permukaan benda saling bersentuhan dan arah gaya gesek selalu berlawanan dengan arah gerak benda tersebut. Gaya gesek pada mobil Nogogeni yaitu terletak pada sistem pengeraman, roda dan bearing. Gaya gesek yang terjadi pada bearing inilah yang menjadi gagasan utama dari topik Tugas Akhir ini.

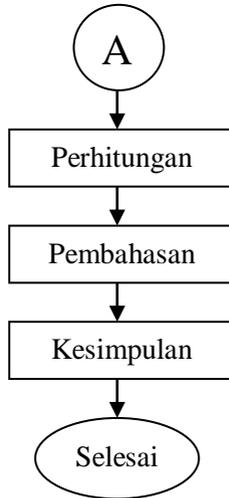
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Percobaan (Flow Chart)

Dalam membuat suatu pengujian dan perbandingan bearing maka diperlukan tahapan-tahapan seperti diagram alir dibawah ini :





3.2 Tempat dan Waktu Pengujian

- Tempat : Bengkel Nogogeni Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Waktu : 15-30 Mei 2018

3.3 Peralatan dan Bahan

Berikut ini merupakan alat-alat dan bahan yang digunakan untuk menguji bearing pada motor listrik mobil Nogogeni Evo V, yaitu :

3.3.1 Motor Listrik

Motor yang digunakan pada mobil Nogogeni merupakan motor listrik jenis Brush DC (*Direct Current*) 48 volt dengan daya sebesar 500 watt. Motor listrik ini berfungsi sebagai penggerak utama pengganti engine pada mobil umumnya.



Gambar 3.1 Motor listrik

3.3.2 Baterai

Baterai yang digunakan pada mobil Nogogeni Evo V yaitu Lithium-ion 48 volt 10 Ah sebagai sumber energi listrik utama untuk mensuplai sistem kelistrikan body dan penggerak (controller & motor listrik).



Gambar 3.2 Baterai Lithium-ion

3.3.3 Controller

Controller sebagai otak utama dalam sistem penggerak mobil Nogogeni, berfungsi untuk mengatur besar kecilnya output berupa tegangan positif yang nantinya memutar motor listrik berdasarkan perintah dari throttle yang nantinya kita kendalikan menggunakan kaki.



Gambar 3.3 Controller

3.3.4 Throttle

Throttle berfungsi untuk mengatur besar kecilnya tegangan input yang masuk ke motor listrik dengan cara memberikan signal input (max 5 volt) ke controller dan kemudian controller memberikan tegangan sebesar input dari throttle berupa putaran motor listrik. Throttle ini di bagi menjadi 10 bukaan throttle, mulai dari 10% - 100 % bukaan penuh throttle. Pembagian ini dilakukan dengan bantuan software arduino guna menentukan setiap 10% kenaikan bukaan throttle. Garis/strip per 10% bukaan throttle seperti ditunjuk anak panah berikut.



Gambar 3.4 Throttle

3.3.5 Joulemeter

Joulemeter berfungsi untuk mengetahui dan memonitor segala bentuk output yang dikeluarkan oleh power supply (baterai).



Gambar 3.5 Joulemeter

3.3.6 Bearing baja (*steel*)

Bearing baja (*steel*) dengan ukuran 6002 C3 merk “IBC” buatan Germany dengan bahan ball nya terbuat dari baja (*steel*) yang dipadukan dengan separator keramik, bearing ini digunakan pada mobil Nogogeni selama 4 tahun berturut-turut dalam mengikuti segala perlombaan mobil hemat energi baik dikelas nasional maupun internasional.



Gambar 3.6 Bearing baja (*steel*)

3.3.7 Bearing Ceramic

Bearing dengan bahan full ceramic Zirkonia Oksida (ZrO_2) dengan ukuran 6002 C5 buatan China dengan merk “IMB”, bearing ini baru diaplikasikan pada mobil Nogogeni tahun 2017.



Gambar 3.7 Bearing keramik

3.3.8 Tachometer

Alat bantu pengujian yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi/putaran dari motor listrik (rpm). Alat ini juga bisa untuk mengukur temperatur/suhu.



Gambar 3.8 Tachometer digital

3.3.9 Motor stand

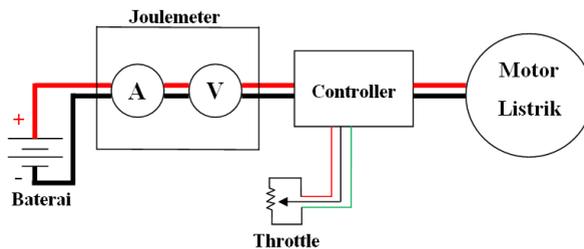
Alat bantu sebagaiudukan motor listrik untuk memegang motor listrik dengan kuat serta menjamin agar poros motor tidak ikut berputar saat dilakukannya proses pengambilan data. Motor stand ini terbuat dari hollow aluminium 2x1 inci dan proses penggabungan menggunakan keling.



Gambar 3.9 Motor stand

3.4 Instalasi dan Skema Pengujian

Berikut ini merupakan sistem instalasi dan skema pengujian bearing baja (*steel*) dan bearing keramik pada motor listrik mobil Nogogeni Evo V.



Gambar 3.10 Rangkaian skema pengujian



Gambar 3.11 Rangkaian skema pengujian secara *riil*

3.5 Prosedur Pengujian

Untuk melakukan pengujian bearing pada sistem penggerak mobil Nogogeni memerlukan beberapa tahapan guna memperoleh data yang diinginkan, yaitu sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan
2. Memastikan alat dan bahan dalam kondisi yang baik
3. Melakukan pengujian menggunakan bearing keramik
 - Membongkar motor listrik
 - Melepas bearing bawaan motor listrik dengan alat yang sesuai



Gambar 3.12 Melepas bearing bawaan pabrik

- Melakukan pemasangan bearing keramik pada motor listrik dengan alat yang sesuai



Gambar 3.13 Proses pemasangan bearing keramik



Gambar 3.14 Bearing keramik yang sudah terpasang

- Merakit kembali motor listrik
- Menyusun bahan sesuai instalasi dan skema pengujian
- Memberi variasi bukaan throttle 10-100%
- Menahan setiap bukaan throttle guna mendapatkan angka yang stabil
- Mendapat hasil dan data pengujian

4. Setelah itu melakukan pengujian menggunakan bearing baja (*steel*).
 - Membongkar motor listrik
 - Melepas bearing keramik dengan alat yang sesuai



Gambar 3.15 Melepas bearing keramik

- Melakukan pemasangan bearing baja (*steel*) pada motor listrik dengan alat yang sesuai



Gambar 3.16 Proses pemasangan bearing baja (*steel*)



Gambar 3.17 Bearing baja (*steel*) yang sudah terpasang

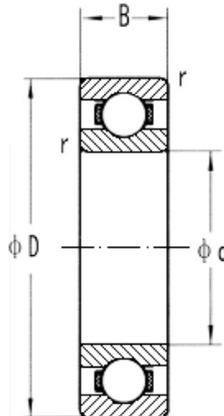
- Merakit kembali motor listrik
 - Menyusun kembali bahan sesuai instalasi dan skema pengujian
 - Memberi variasi bukaan throttle 10-100%
 - Menahan setiap bukaan throttle guna mendapatkan angka yang stabil
 - Mendapat hasil dan data pengujian
5. Membandingkan data dari kedua hasil pengujian bearing baja (*steel*) dan bearing keramik
 6. Membuat kesimpulan dan selesai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian daya input pada bearing keramik dan bearing baja (*steel*) pada motor listrik mobil Nogogeni Evo V beserta perhitungannya.

Pengambilan data (arus dan voltase) yang masuk ke motor listrik ketika menggunakan bearing keramik dan bearing baja (*steel*) dapat dijelaskan pada sub berikut ini.



Gambar 4.1 Dimensi bearing motor listrik Nogogeni Evo V

Tabel. 4.1 Dimensi bearing baja (*steel*) dan bearing keramik

Bearing No.	Boundary Dimension (mm)			
	d	D	B	r (min)
6002	15	32	9	0,3

Bearing yang terpasang pada motor listrik mobil Nogogeni Evo V merupakan jenis “Single Row Deep Groove Ball Bearing”.

4.1. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengujian perbandingan bearing yang terpasang pada motor listrik sebagai penggerak utama mobil Nogogeni Evo V. Dengan membandingkan daya input bearing baja (*steel*) dan bearing keramik yang terpasang pada motor listrik.

Pengujian dilakukan tanpa memberikan pembebanan pada motor listrik, motor listrik ditopang menggunakan motor stand sebagai dudukan yang kuat saat pengujian berlangsung.



Gambar 4.2 Motor listrik yang terpasang pada motor stand

Berikut ini merupakan data hasil pengujian motor listrik setelah dirata-rata dari 2 kali hasil pengujian saat menggunakan bearing baja (*steel*) dan bearing keramik (tanpa pelumas) dengan menahan bukaan throttle setiap 10% bukaan throttle selama 5 menit. Setiap pengujian motor listrik per 10% bukaan throttle kondisi baterai terisi penuh yaitu 54,5 volt. Data pengujian yang lainnya dapat dilihat pada Lampiran I.

Tabel. 4.2 Data pengujian menggunakan bearing baja (*steel*)

Bukaan Throttle (%)	Arus Input (A)	Voltase Input (V)	Putaran Motor (rpm)	Voltase Awal Baterai (V)	Voltase Akhir Baterai (V)	Temp. Awal (°C)	Temp. Akhir (°C)
10	0,02	5,9	0	54,5	54,5	32	32
20	0,06	13	29	54,5	54,3	32	32,2
30	0,08	21,4	144	54,5	54	32	32,4
40	0,12	27,5	243	54,4	53,7	32	32,7
50	0,16	33,1	323	54,4	53,3	32	33,1
60	0,22	38,4	401	54,5	52,9	32	33,6
70	0,26	43	465	54,5	52,5	32	34,2
80	0,31	47,6	534	54,4	52	32	34,7
90	0,33	50,7	577	54,5	51,6	32	35,2
100	0,33	53,5	577	54,5	51,6	32	35,3

Tabel. 4.3 Data pengujian menggunakan bearing keramik.

Bukaan Throttle (%)	Arus Input (A)	Voltase Input (V)	Putaran Motor (rpm)	Voltase Awal Baterai (V)	Voltase Akhir Baterai (V)	Temp. Awal (°C)	Temp. Akhir (°C)
10	0,02	5,85	0	54,5	54,5	32	32
20	0,04	12,8	30	54,5	54,3	32	32,2
30	0,08	19,5	149	54,5	54	32	32,4
40	0,10	27,05	251	54,4	53,7	32	32,6
50	0,14	33,7	333	54,5	53,3	32	32,9
60	0,17	40	429	54,4	52,9	32	33,3
70	0,23	43,05	509	54,4	52,5	32	33,8
80	0,27	47,8	576	54,5	52	32	34,2
90	0,32	49,1	598	54,5	51,6	32	34,9
100	0,32	53,2	598	54,5	51,6	32	35

4.2 Perhitungan daya input

Pada sub ini akan dihitung besarnya daya input yang masuk ke motor saat menggunakan bearing keramik dan bearing baja (*steel*). Dapat dihitung dengan rumus (2.1) :

$$P = V \times I$$

$$P = 5,9 \text{ volt} \times 0,02 \text{ A}$$

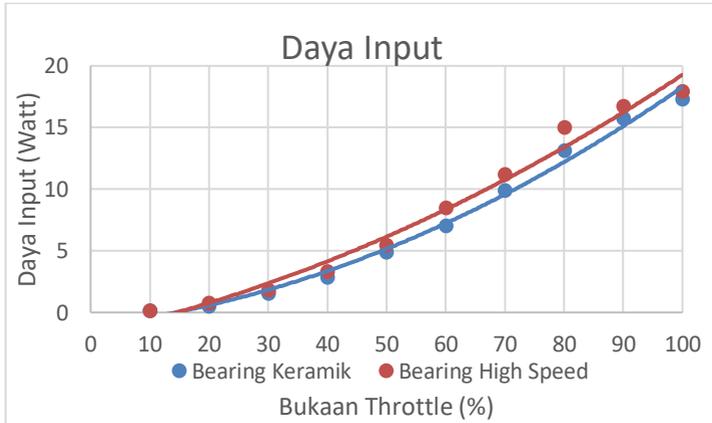
$$P = 0,148 \text{ watt}$$

Perhitungan-perhitungan yang lain pada tabel 4.2 dan 4.3 dapat dihitung dengan cara yang sama, hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.4.

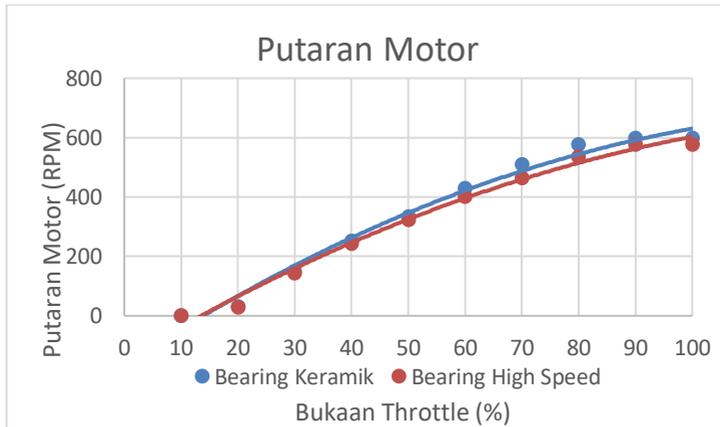
Tabel. 4.4 Perbandingan daya input dan putaran motor listrik saat menggunakan bearing baja (*steel*) dan bearing keramik.

No.	Bukaan Throttle (%)	Bearing baja (<i>steel</i>)		Bearing keramik	
		P (watt)	n (rpm)	P (watt)	n (rpm)
1.	10	0,148	0	0,117	0
2.	20	0,780	29	0,512	30
3.	30	1,823	144	1,560	149
4.	40	3,306	243	2,840	251
5.	50	5,461	323	4,886	333
6.	60	8,459	401	7	429
7.	70	11,18	465	9,901	509
8.	80	15	534	13,145	576
9.	90	16,731	577	15,712	598
10.	100	17,939	577	17,290	598

Berdasarkan tabel 4.4, maka dapat dibuat grafik perbandingan daya input dan putaran motor (rpm) saat menggunakan bearing baja (*steel*) dan bearing keramik.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan daya input



Gambar 4.4 Grafik perbandingan putaran motor

4.3 Gesekan dan Prediksi Umur Bearing

4.3.1 Kerugian daya akibat gesekan pada Rolling Bearing

Akibat adanya gesekan diantara komponen bearing, yaitu ring luar, bola atau rol gelinding dan ring dalamnya akan menyebabkan kerugian daya. Secara pendekatan kehilangan daya tersebut dapat dihitung dengan rumus (2.2) :

$$f_{HP} = \frac{T_f \cdot n}{63.025} = \frac{f \cdot F_r \cdot d \cdot n}{126.050}$$

Mencari nilai F_r dapat dihitung dengan rumus (2.3) :

$$P = \frac{F_e \cdot v}{102}$$

Dari rumus diatas dapat digunakan untuk mencari nilai $F_r = F_e$:

$$F_e = \frac{102 \cdot P}{v}$$

4.3.1.1 Kerugian daya akibat gesekan pada Bearing Baja (*steel*)

Nilai koefisien gesek bearing (f) dapat diketahui dari Tabel (2.1)

$$f = 0,0015$$

$$d \text{ (bearing)} = 32 \text{ mm} = 1,259 \text{ in}$$

$$n \text{ (bearing baja (steel))} = 575 \text{ rpm}$$

Mencari kecepatan keliling v (m/s) dapat dicari dengan rumus (2.4) :

$$v = \pi \cdot d \cdot n$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 32 \text{ mm} \cdot 575 \text{ rpm}}{60 \cdot 1000}$$

$$v = 0,962 \text{ m/s}$$

Masukkan nilai v ke dalam rumus untuk mencari nilai F_e (kgf).

$$F_e = \frac{102 \cdot P}{v}$$

$$F_e = \frac{102 \cdot 0,5 \text{ kW}}{0,962 \text{ m/s}}$$

$$F_e = 53,014 \text{ kgf}$$

$$F_e = 116,935 \text{ lbf}$$

Nilai $F_e = F_r$, maka kerugian daya yang hilang akibat gesekan pada bearing baja (*steel*) dapat dihitung dengan rumus (2.2) :

$$f_{HP} = \frac{f \cdot F_r \cdot d \cdot n}{126.050}$$

$$f_{HP} = \frac{0,0015 \cdot 116,935 \text{ lbf} \cdot 1.259 \text{ in} \cdot 575 \text{ rpm}}{126.050}$$

$$f_{HP} = 0,001 \text{ HP}$$

$$f_{HP} = 0,745 \text{ watt}$$

4.3.1.2 Kerugian daya akibat gesekan pada Bearing Keramik

Nilai koefisien gesek pada bearing keramik (f) yaitu 25% lebih kecil dari material baja (*steel*).

(Sumber : www.ceramicspeed.com)

$$f = 0,0015 \times \frac{25}{100} = 0,0003$$

$$f = 0,0011$$

$$d \text{ (bearing)} = 32 \text{ mm} = 1,259 \text{ in}$$

$$n \text{ (bearing keramik)} = 595 \text{ rpm}$$

Mencari kecepatan keliling v (m/s) dapat dicari dengan rumus (2.4) :

$$v = \pi \cdot d \cdot n$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 32 \text{ mm} \cdot 595 \text{ rpm}}{60 \cdot 1000}$$

$$v = 0,996 \text{ m/s}$$

Masukkan nilai v ke dalam rumus untuk mencari nilai F_e (kgf).

$$F_e = \frac{102 \cdot P}{v}$$

$$F_e = \frac{102 \cdot 0,5 \text{ kW}}{0,996 \text{ m/s}}$$

$$F_e = 51,204 \text{ kgf}$$

$$F_e = 112,885 \text{ lbf}$$

Nilai $F_e = F_r$, maka kerugian daya yang hilang akibat gesekan pada bearing keramik dapat dihitung dengan rumus (2.2):

$$f_{HP} = \frac{f \cdot F_r \cdot d \cdot n}{126.050}$$

$$f_{HP} = \frac{0,0003 \cdot 112,885 \text{ lbf} \cdot 1.259 \text{ in} \cdot 595 \text{ rpm}}{126.050}$$

$$f_{HP} = 0,0007 \text{ HP}$$

$$f_{HP} = 0,521 \text{ watt}$$

4.3.2 Prediksi Umur Bearing

Bearing yang terpasang pada motor listrik mobil Nogogeni Evo V merupakan jenis “Single Row Deep Groove Ball Bearing” ukuran (6002) dengan ring bagian luar yang berputar dan nilai beban statis dan dinamis pada bearing sebagai berikut :

Basic static load (C_0) : 640,71 lbf

Basic dynamic load (C) : 1315,13 lbf

Faktor putaran (V) : 1,2 (ring luar berputar)

Konstanta (b) : 3 (ball bearing)

Dengan asumsi putaran konstan, maka prediksi umur bearing (dinyatakan dalam jam) dapat ditulis dengan rumus (2.5):

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^b \times \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

4.3.2.1 Prediksi Umur Bearing Baja (*steel*)

Nilai konstanta kondisi beban (F_s) dapat dilihat pada tabel (2.2) menggunakan Ball Bearing (Uniform an Steady Load) $F_s = 1,0$. Dikarenakan tidak adanya gaya aksial yang bekerja pada bearing baja (*steel*) maka :

$Y = 0$ dan $X = 1$ (lihat tabel 1.2)

Mencari nilai P dapat menggunakan rumus (2.7) :

$$P = F_s (V.X.F_r + Y.F_a)$$

$$P = 1,0 (1,2.1.116,935 \text{ lbf} + 0)$$

$$P = 140,322 \text{ lbf}$$

Setelah mendapat nilai beban ekuivalen (P) maka prediksi umur bearing baja (*steel*) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^b x \frac{10^6}{60.n}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{1315,13 \text{ lbf}}{140,322 \text{ lbf}} \right)^3 x \frac{10^6}{60.575 \text{ rpm}}$$

$$L_{10h} = 823,244 \text{ lbf} . 28,985$$

$$L_{10h} = 2.386 \text{ jam}$$

Diperoleh umur bearing baja (*steel*) yang digunakan pada motor listrik mobil Nogogeni ITS Team yaitu 2.386 jam (tanpa pembebanan).

4.3.2.2 Prediksi Umur Bearing Keramik

Nilai konstanta kondisi beban (F_s) dapat dilihat pada tabel (2.2) menggunakan Ball Bearing (Uniform an Steady Load) $F_s = 1,0$. Dikarenakan tidak adanya gaya aksial yang bekerja pada bearing keramik maka :

$Y = 0$ dan $X = 1$ (lihat tabel 1.2)

Mencari nilai P dapat menggunakan rumus (2.7) :

$$P = F_s (V.X.F_r + Y.F_a)$$

$$P = 1,0 (1,2.1.112,885 \text{ lbf} + 0)$$

$$P = 135,462 \text{ lbf}$$

Setelah mendapat nilai beban ekuivalen (P) maka prediksi umur bearing keramik dapat dihitung menggunakan rumus (2.5) :

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^b x \frac{10^6}{60.n}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{1315,13 \text{ lbf}}{135,462 \text{ lbf}} \right)^3 x \frac{10^6}{60.595 \text{ rpm}}$$

$$L_{10h} = 915,068 \text{ lbf} . 28,011$$

$$L_{10h} = 2.563 \text{ jam}$$

Diperoleh umur bearing keramik yang digunakan pada motor listrik mobil Nogogeni ITS Team yaitu 2.563 jam (tanpa pembebanan).

4.4. Pelumasan Rolling Bearing

Pada sub bab ini, akan dibahas tentang pelumasan pada *rolling bearing*. Adanya pelumasan sangat penting untuk mengurangi gaya gesek, menurunkan tingkat keausan, dan mengurangi timbulnya panas pada bearing.

Pembahasan ini diperlukan apabila dibutuhkan data tentang viskositas minyak pelumas yang cocok untuk bearing baja (*steel*) dan bearing keramik. Namun dalam penelitian ini viskositas minyak pelumas yang cocok tersebut tidak dibahas lebih lanjut, hanya dimasukkan dalam saran.

4.4.1 Pelumas Bearing Baja (*steel*)

Besarnya viskositas minyak pelumas yang diperlukan untuk melumasi bearing baja (*steel*) dapat diketahui dengan cara berikut :

Melakukan pengukuran temperatur bearing baja (*steel*) saat proses pengambilan data dengan menggunakan alat thermometer infrared, hal ini berguna untuk mengetahui temperatur kerja bearing.

dimana : $D \text{ bearing} = 32 \text{ mm}$

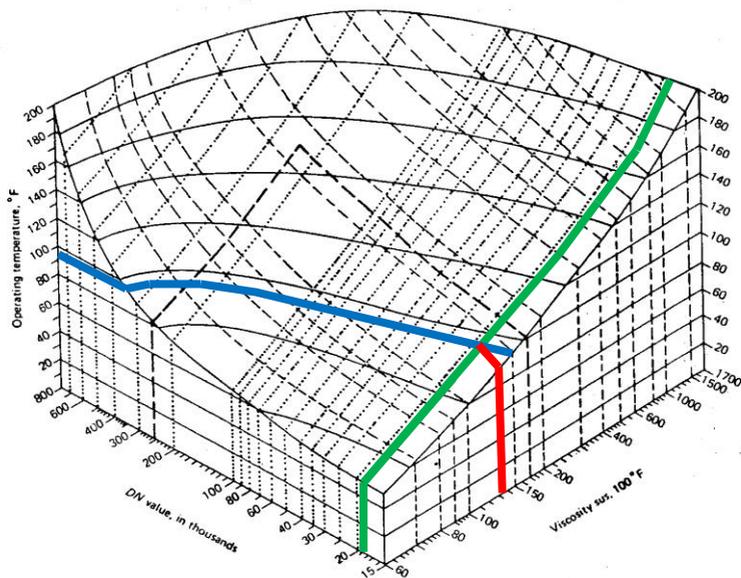
$n \text{ (bearing baja (steel))} = 575 \text{ rpm}$

Temperatur kerja = $35 \text{ }^\circ\text{C} = 95 \text{ }^\circ\text{F}$

Menentukan harga DN dapat dihitung dengan rumus (2.8) :

Harga D.N = $32.575 = 18.400$

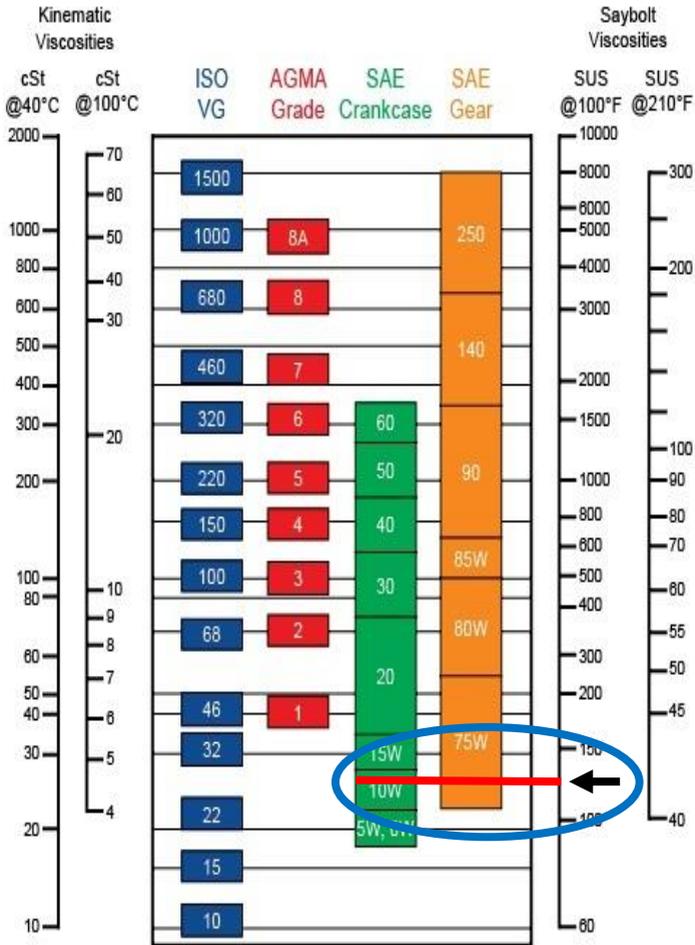
Setelah harga DN didapat masukkan ke dalam grafik pemilihan minyak pelumas berdasarkan viskositas (Gambar 4.6) untuk mengetahui harga viskositas minyak pelumas berdasarkan pertemuan antara garis harga DN dengan garis temperatur kerja ($^{\circ}\text{F}$)



Gambar 4.5 Grafik pemilihan minyak pelumas berdasarkan viskositas

Diperoleh pertemuan antara garis harga DN (bwarna hijau) dan garis temperatur kerja ($^{\circ}\text{F}$) (bwarna biru) sehingga diperoleh perpotongan garis (bwarna merah) merupakan harga viskositas minyak pelumas 130 SUS dengan dasar/basis 100°F .

Setelah mendapat harga viskositas minyak pelumas lihat pada Gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.6 Perbandingan satuan-satuan viskositas

Dari (Gambar 4.7) dapat ditarik garis horisontal (warna merah) pada harga viskositas minyak pelumas 100 SUS dengan dasar/basis 100°F. Didapat nilai kekentalan minyak pelumas yang sesuai untuk bearing baja (*steel*) yaitu SAE 10 W.

4.4.2 Pelumasan Bearing Keramik

Minyak pelumas yang digunakan untuk melumasi bearing keramik berbeda pada bearing pada umumnya, karena material bearing terbuat dari material keramik maka minyak pelumas yang digunakan yaitu *grease* khusus bearing keramik. Berikut merupakan minyak pelumas/*grease* khusus bearing keramik yang digunakan untuk melumasi bearing keramik pada Mobil Nogogeni.



Gambar 4.7 Pelumas *grease* khusus bearing keramik

4.5 Pembahasan

Pada pembahasan berikut ini didapatkan kesimpulan yang dapat ditarik setelah dilakukannya pengujian dan perhitungan diatas sebagai berikut :

1. Hasil pengujian motor listrik menggunakan bearing baja (*steel*) dan bearing keramik (kondisi tanpa pelumas) didapatkan data perbandingan daya input dan putaran motor listrik. Saat bukaan throttle penuh 100 % dengan waktu pengujian 5 menit, daya input motor listrik menggunakan bearing baja (*steel*) yaitu 17,939 watt dan saat menggunakan bearing keramik yaitu 17,290 watt. Putaran maksimal motor listrik menggunakan bearing baja (*steel*) yaitu 577 rpm dan saat menggunakan bearing keramik yaitu 598 rpm. Dengan daya input yang relatif lebih kecil, bearing keramik mempunyai putaran lebih tinggi (lihat Gambar 4.4 dan Gambar 4.5).
2. Temperatur kerja bearing baja (*steel*) dan bearing keramik memiliki temperatur yang sama saat bukaan throttle 10%-30% dan mulai mengalami perbedaan temperatur saat bukaan throttle 40%-100%. Temperatur kerja bearing keramik relatif lebih rendah dari pada bearing baja (*steel*), dengan temperatur kerja maksimal yaitu 35°C dan temperatur kerja bearing baja (*steel*) maksimal yaitu 35,3°C (lihat Tabel 4.2 dan Tabel 4.3). Karena adanya gesekan pada bearing, perbedaan material bearing berpengaruh terhadap panas yang dihasilkan.
3. Kerugian daya akibat gesekan yang terjadi pada bearing baja (*steel*) lebih besar yaitu 0,745 watt jika dibandingkan dengan nilai kerugian daya akibat gesekan pada bearing keramik yaitu 0,521 watt. Perbedaan material dari bearing baja (*steel*) dan bearing keramik mempengaruhi nilai kerugian daya akibat adanya *friction* (faktor yang mempengaruhi konsumsi energi).

4. Umur dari bearing bearing baja (*steel*) yaitu 2.386 jam dan umur bearing keramik yaitu 2.536 jam, bearing keramik memiliki umur pakai yang lebih panjang dari pada bearing baja (*steel*). Hal ini dikarenakan bearing keramik memiliki nilai koefisien gesek yang kecil dan material keramik lebih tahan terhadap korosi.
5. Minyak pelumas yang sesuai digunakan untuk melumasi bearing baja (*steel*) yaitu minyak pelumas dengan SAE 10 W (lihat Gambar 4.7), sedangkan minyak pelumas untuk bearing keramik menggunakan pelumas *grease* khusus (lihat Gambar 4.8).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan terkait dengan perbandingan bearing baja (*steel*) dan bearing keramik pada motor listrik Mobil Nogogeni Evo V, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil dari pengujian kedua bearing didapat perbandingan daya input dan putaran motor listrik, bearing keramik lebih baik dikarenakan dapat menghasilkan putaran yang lebih tinggi sampai 598 rpm dengan daya input yang relatif lebih kecil yaitu 17,290 watt.
2. Kerugian daya akibat gesekan yang terjadi pada bearing baja (*steel*) sebesar 0,745 watt dan kerugian daya akibat gesekan pada bearing keramik sebesar 0,521 watt. Perbedaan material dari kedua bearing mempengaruhi nilai kerugian daya dan panas yang dihasilkan akibat gesekan.
3. Umur pakai bearing baja (*steel*) yaitu selama 2.386 jam dan umur pakai bearing keramik yaitu selama 2.563 jam (kondisi tanpa pelumasan dan tanpa pembebanan).

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak hal yang harus dikembangkan untuk mendapatkan hasil lebih baik pada penelitian selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Penelitian mengenai pengujian bearing pada Mobil Nogogeni Evo V selanjutnya diharapkan bisa diberi pembebanan atau dilakukan pengujian dinamis pada mesin *dyno test*. Supaya mendapat data yang lebih

komplek guna meriset sistem yang ada pada Mobil Nogogeni lebih baik lagi kedepannya.

2. Dengan adanya penelitian tentang perbandingan bearing baja (*steel*) dan bearing keramik ini diharapkan adanya pengadaan bearing keramik dengan kualitas yang lebih baik dan bagus, seperti produk SKF.
3. Untuk pengujian selanjutnya mengenai bearing yang digunakan pada mobil Nogogeni Evo V diharapkan dapat memberikan variasi minyak pelumas. Minyak pelumas yang sesuai digunakan untuk melumasi bearing baja (*steel*) yaitu minyak pelumas dengan SAE 10 W sedangkan minyak pelumas untuk bearing keramik menggunakan pelumas *grease* khusus.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aaron Deutschment, 1985, *Machine Design Theory*, London : Collier Macmillan International Edition.
2. Suga, Kiyokatsu dan Sularso, 1980, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
3. Eschmann P., Hasbargen L. and Weigand K., 1985. *Ball and Roller Bearings Theory, Design and Application 3rd edition*, New York : Jhon Wiley.
4. www.ceramicspeed.com. Diakses pada 29 April 2018
5. www.bocabearings.com. Diakses pada 30 Mei 2018
6. www.ortechceramics.com. Diakses pada 02 Mei 2018
7. www.litsceramicbearing.com. Diakses pada 02 Mei 2018

Halaman ini sengaja di kosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Kediri pada tanggal 25 Januari 1997, dari pasangan Bapak Sukiran dan Ibu Sri Utami. Penulis merupakan anak ke-4 (saudara kembar) dari 4 bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang pernah ditempuh yaitu TK Dharma Wanita Turus Gurah, SDN Turus Gurah, SMPN 2 Gurah, dan SMK Kartanegara Kota Kediri.

Pada tahun 2015 penulis mengikuti ujian masuk Program Diploma III ITS dan diterima sebagai mahasiswa di Program Studi Diploma III Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 102115 000 001 31. Penulis mengambil bidang keahlian Manufaktur sesuai dengan kelas yang diikuti.

Penulis aktif dalam mengikuti berbagai pelatihan *leadership*, *greader* dan organisasi. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis, antara lain : LKMM Pra-TD FTI ITS, PKTI (Penulisan Karya Tulis Ilmiah), PMB (Pelatihan Motor Bakar). Penulis juga pernah menjadi Greader Lab Proses Manufaktur (2016-2017). Organisasi yang pernah diikuti oleh penulis, yaitu : Nogogeni D3 Teknik Mesin ITS Team (2016-2017 sebagai Staff Chassis and Steering System) dan (2017-2018 sebagai Technical Manager).

Email : donirohma@yahoo.com

No. Telp : 0813-5814-7227

Halaman ini sengaja di kosongkan

LAMPIRAN I

Berikut data yang didapat setelah melakukan pengujian motor listrik menggunakan bearing baja (steel) dan bearing keramik, masing-masing sebanyak 2 kali pengujian dengan waktu pengujian 5 menit per 10% bukaan throttle.

Tabel 1. Data pengujian ke-1 menggunakan bearing baja (*steel*)

Bukaan Throttle (%)	Arus Input (A)	Voltase Input (V)	Putaran Motor (rpm)	Voltase Awal Baterai (V)	Voltase Akhir Baterai (V)	Temp. Awal (°C)	Temp. Akhir (°C)
10	0,02	6,1	0	54,5	54,5	32	32
20	0,06	13,2	30	54,5	54,3	32	32,2
30	0,09	21,3	144	54,5	54	32	32,4
40	0,13	27	245	54,4	53,7	32	32,7
50	0,16	32,9	324	54,4	53,3	32	33,1
60	0,23	38,2	403	54,5	52,9	32	33,6
70	0,27	42,7	467	54,5	52,5	32	34,2
80	0,31	47,8	535	54,4	52	32	34,7
90	0,33	51	577	54,5	51,6	32	35,2
100	0,34	53,8	578	54,5	51,6	32	35,3

Tabel 2. Data pengujian ke-2 menggunakan bearing baja (*steel*)

Bukaan Throttle (%)	Arus Input (A)	Voltase Input (V)	Putaran Motor (rpm)	Voltase Awal Baterai (V)	Voltase Akhir Baterai (V)	Temp. Awal (°C)	Temp. Akhir (°C)
10	0,03	5,8	0	54,5	54,5	32	32
20	0,06	12,8	29	54,5	54,3	32	32,2
30	0,08	21,6	145	54,5	54	32	32,4
40	0,11	28,1	241	54,4	53,7	32	32,7
50	0,17	33,3	322	54,4	53,3	32	33,1
60	0,21	38,7	399	54,5	52,9	32	33,6
70	0,25	43,3	463	54,5	52,5	32	34,2
80	0,32	47,5	534	54,4	52	32	34,7
90	0,33	50,4	577	54,5	51,6	32	35,2
100	0,33	53,3	577	54,5	51,6	32	35,3

Tabel 3. Data pengujian ke-1 menggunakan bearing keramik.

Bukaan Throttle (%)	Arus Input (A)	Voltase Input (V)	Putaran Motor (rpm)	Voltase Awal Baterai (V)	Voltase Akhir Baterai (V)	Temp. Awal (°C)	Temp. Akhir (°C)
10	0,02	5,6	0	54,5	54,5	32	32
20	0,03	12,6	31	54,5	54,3	32	32,2
30	0,07	18,9	150	54,5	54	32	32,4
40	0,1	26,7	254	54,4	53,7	32	32,6
50	0,15	33,7	334	54,5	53,3	32	32,9
60	0,17	40,2	430	54,4	52,9	32	33,3
70	0,23	43,5	512	54,4	52,5	32	33,8
80	0,28	48	577	54,5	52	32	34,2
90	0,32	49,3	598	54,5	51,6	32	34,8
100	0,33	53,3	598	54,5	51,6	32	34,9

Tabel 4. Data pengujian ke-2 menggunakan bearing keramik.

Bukaan Throttle (%)	Arus Input (A)	Voltase Input (V)	Putaran Motor (rpm)	Voltase Awal Baterai (V)	Voltase Akhir Baterai (V)	Temp. Awal (°C)	Temp. Akhir (°C)
10	0,02	6,1	0	54,5	54,5	32	32
20	0,05	13	30	54,5	54,3	32	32,2
30	0,09	20,1	149	54,5	54	32	32,4
40	0,11	27,4	249	54,4	53,7	32	32,6
50	0,14	33,2	332	54,5	53,3	32	32,9
60	0,18	39,8	428	54,4	52,9	32	33,4
70	0,23	42,6	507	54,4	52,5	32	33,8
80	0,27	47,6	576	54,5	52	32	34,2
90	0,32	48,9	598	54,5	51,6	32	34,9
100	0,32	53,1	598	54,5	51,6	32	35,1

Dari hasil tersebut maka dapat dihitung nilai rata-rata dari setiap data (A,V,n) yang diperoleh :

1. Pengujian motor listrik saat menggunakan bearing baja (*steel*):

Pada bukaan throttle sebesar 10%

Nilai rata-rata (A) = Pengujian 1 + Pengujian 2

Nilai rata-rata (A) = 0,02 + 0,03

Nilai rata-rata (A) = 0,05/2

Nilai rata-rata (A) = 0,025 A

Nilai rata-rata (V) = Pengujian 1 + Pengujian 2

Nilai rata-rata (V) = 6,1 + 5,8

Nilai rata-rata (V) = 11,9/2

Nilai rata-rata (V) = 5,95 V

Nilai rata-rata (n) = Pengujian 1 + Pengujian 2

Nilai rata-rata (n) = 0 + 0

Nilai rata-rata (n) = 0/2

Nilai rata-rata (n) = 0 rpm

2. Pengujian motor listrik saat menggunakan bearing keramik :

Pada bukaan throttle sebesar 10%

Nilai rata-rata (A) = Pengujian 1 + Pengujian 2

Nilai rata-rata (A) = 0,02 + 0,02

Nilai rata-rata (A) = 0,04/2

Nilai rata-rata (A) = 0,02 A

Nilai rata-rata (V) = Pengujian 1 + Pengujian 2

Nilai rata-rata (V) = 5,6 + 6,1

Nilai rata-rata (V) = 11,7/2

Nilai rata-rata (V) = 5,85 V

Nilai rata-rata (n) = Pengujian 1 + Pengujian 2

Nilai rata-rata (n) = 0 + 0

Nilai rata-rata (n) = 0/2

Nilai rata-rata (n) = 0 rpm

Perhitungan-perhitungan yang lain dapat dihitung dengan cara yang sama, hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.2 dan tabel 4.3

LAMPIRAN II

Ceramic Bearing vs. Steel Bearing Material Comparison Chart

Item	Unit	Si3N4	ZrO2	Al2O3 (99.5%)	SiC	Bearing Steel
Density	g/cm ³	3.23	6.05	3.92	3.12	7.85
Water Absorption	%	0	0	0	0	0
Coefficient of Linear Thermal Expansion	10 ⁻⁶ /K	3.2	10.5	8.5	3	12.5
Modulus of Elasticity (Young's Mod.)	GPa	300	210	340	440	208
Poisson's Ratio	/	0.26	0.3	0.22	0.17	0.3
Hardness (Hv)	MPa	1500	1200	1650	2800	700
Flexural Strength (@ R.T.)	MPa	720	950	310	390	520 (tensile strength)
Flexural Strength (700°)	MPa	450	210	230	380	/
Compressive Strength (@R.T.)	MPa	2300	2000	1800	1800	/
Fracture Toughness, K _{IC}	MPa ^{1/2} m ^{1/2}	6.2	10	4.2	3.9	25
Thermal Conductivity (@R.T.)	W/m ² °K	25	2	26	120	40
Electrical Resistivity (@R.T.)	Ω ² mm ² /m	>10 ¹³	>10 ¹⁵	>10 ¹⁶	>10 ³	0.1~1
Max. Use Temperature (no loading)	°F	1050	750	1500	1700	300
Corrosion Resistance	/	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Poor

Sumber : www.bocabearing.com

