

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN
DINAMOMETER ARUS EDDY UNTUK
PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR
KAPASITAS 130 KW**



TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Magister Teknik Mesin pada Program Pasca Sarjana
Universitas Diponegoro**

Disusun Oleh :

**SUPRIYO
NIM. L4E 009 036**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
2012**

ABSTRAK

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN DINAMOMETER ARUS EDDY UNTUK PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR KAPASITAS 130 KW

Disusun oleh:

**SUPRIYO
NIM. L4E 009036**

Dinamometer merupakan suatu mesin elektro-mekanik yang digunakan untuk mengukur torsi dari tenaga yang diproduksi oleh suatu mesin kendaraan. Jenis dinamometer yang beredar di pasaran antara lain jenis dinamometer listrik arus Eddy. Dinamometer arus Eddy adalah penyerapan yang paling umum digunakan pada dinamometer *chasis* modern. Penyerapan arus Eddy dapat menghasilkan perubahan beban yang sangat cepat untuk penyelesaian beban. Kebanyakan menggunakan pendingin udara dan tidak membutuhkan pendingin air eksternal. Pada prinsipnya dinamometer arus Eddy terdiri dari suatu rotor yang digerakkan oleh suatu mesin yang tenaganya akan diukur dan berputar dalam medan magnet. Kekuatan medan magnetnya dikontrol dengan mengubah arus sepanjang susunan kumparan yang ditempatkan pada stator. Rotor ini ditempatkan pada kedua sisi stator dan bertindak sebagai konduktor yang memotong medan magnet. Karena pemotongan medan magnet itu maka terjadi arus dan arus ini diinduksikan dalam plat rugi-rugi sehingga menjadi panas. Harga satu unit dinamometer cukup mahal sehingga sulit untuk dimiliki oleh institusi penelitian yang sedang berkembang.

Tujuan penelitian ini untuk merancang dan membuat dinamometer yang sederhana dan harga terjangkau, namun tetap memiliki akurasi pengukuran yang baik. Dinamometer yang dirancang dan dibuat dengan kapasitas 130 kW. Perancangan teknik merupakan aplikasi dari ilmu pengetahuan, teknologi, dan penemuan-penemuan baru untuk membuat mesin-mesin yang dapat melakukan berbagai pekerjaan dengan ekonomis dan efisien. Perancangan pada prinsipnya mempunyai ketentuan-ketentuan yaitu keandalan yang tinggi untuk mengatasi kerusakan dalam batas-batas normal, keamanan ditujukan untuk keselamatan manusia dan lingkungan, kemudahan dalam pengoperasian, pemeriksaan, pengawasan, pemeliharaan dan perbaikan, hemat tempat dengan ukuran yang sesuai diharapkan, alat yang dibuat tidak terlalu besar dan ekonomis. Pembuatan merupakan proses pekerjaan dari hasil perancangan. Pembuatan dinamometer terdiri dari dua bagian yaitu stator dan rotor. Stator terdiri dari inti besi, belitan dan sepatu kutub yang dipasang pada rumah stator, sedangkan rotor terdiri dari sudu yang dilengkapi dengan plat rugi-rugi dan dihubungkan ke poros.

Pengujian dilakukan menghubungkan dinamometer dengan roll yang diputar oleh mesin penggerak mobil Picanto kapasitas 1086 cc, daya maksimum 64 PS (47 kW) pada 5500 rpm, dan torsi maksimum 9,9 kg.m (97,5 Nm) pada 2800 rpm.

Dinamometer diberi sumber tegangan arus searah, juga dihubungkan ke lengan timbangan untuk mendapatkan massa. Poros dinamometer dihubungkan ke tachometer untuk mengukur putaran dinamometer, sedangkan di engine dihubungkan tachometer untuk mengukur putaran *engine*. Gardan depan mobil diikat pada *chassis* supaya mobil tidak bergeser kekiri atau kekanan. Blower dipasang di depan mobil untuk mendinginkan mesin mobil. Pengujian dilakukan dengan mengubah kecepatan putaran mesin penggerak secara bertahap, dari kecepatan rendah ke kecepatan tinggi, pada pemberian arus 25 A, 30 A, 35 A dan 40 A. Setiap hasil pengujian untuk pemberian arus dinamometer ada 10 tahap yaitu dari putaran *engine* 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm, 4000 rpm, 4500 rpm, 5000 rpm dan 5500 rpm.

Hasil uji ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil pengujian menunjukkan pemberian arus 40 A menghasilkan torsi dan daya yang paling tinggi dengan putaran *engine* 5500 rpm didapatkan daya *engine* 63,4 PS (46,6 kW) dan daya dinamometer 57 PS (42 kW), sedangkan pada putaran *engine* 3000 rpm menghasilkan torsi *engine* 9,7 kg.m (95,9 Nm) dan torsi dinamometer 185,3 Nm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data hasil yang diperoleh tidak berbeda dengan data dari mobil Picanto, maka dinamometer yang dibuat mampu digunakan untuk menguji mobil Picanto.

Kata kunci: Kendaraan bermotor, dinamometer, arus Eddy

ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURE OF EDDY CURRENT DYNAMOMETER FOR TESTING OF MOTORIZED VEHICLES WITH CAPACITY 130 KW

By

**SUPRIYO
NIM. L4E 009036**

Dynamometer is an electro-mechanical machine which is used to measure the torque of the power produced by an engine. One of dynamometer type on the market is Eddy current electric dynamometer. Eddy current dynamometer is the absorption of the most commonly used in modern chassis dynamometer. Absorption Eddy currents can produce very rapid load changes for load settlement. Most use air conditioning and do not require an external water cooling. In principle, Eddy current dynamometer consists of a rotor that is driven by an engine whose strength will be measured and rotates in a magnetic field. Strength of the magnetic field is controlled by changing the current of the whole arrangement coil placed on the stator. The rotor is placed on both sides of the stator and acts as a conductor cut the magnetic field. cutting the magnetic field can result the current induced in the losses plate so that it becomes hot. The price of a dynamometer unit is quite expensive so it is difficult to be owned by a growing research institution.

The object of this study to design and manufacture a simple dynamometer and reasonably priced, but still has good measurement accuracy. Dynamometer designed and created with a capacity of 130 kW. The design engineering is the application of science, technology, and new invention to manufacture of machines that can perform a variety of jobs with the economically and efficient. in principle, Design have provisions which high reliability to overcome the damage within normal limits, the security intended for human and environmental safety, simply operation, inspection, monitoring, maintenance and repairs, saving space with the appropriate size expected, tools is not too large and economically. manufacture is the work of the design results. Manufacture of dynamometer consists two parts: stator and rotor. The stator consists of an iron core, windings and pole shoe mounted on the stator, while the rotor consists of blades equipped with losses plate and connected to the shaft.

Testing is carry out by connecting the dynamometer roll played by an engine capacity of 1086 cc Picanto cars, maximum power of 64 PS (47 kW) at 5500 rpm and maximum torque of 9.9 kg.m (97.5 Nm) at 2800 rpm. Dynamometer given a direct current voltage source. it is also connected to the arm to get the mass scales. Dynamometer shaft was connected to tachometer to measure a dynamometer

rotation, whereas in the engine connected tachometer to measure engine speed. Front axle fastened on the chassis so the car does not move to left or right. Blower mounted on the front of the car to cool the engine. Testing is carry out by gradually changing the speed of the prime mover, from low speed to high speed, the current provision of 25 A, 30 A, 35 A and 40 A. Each of the test results for the current administration of dynamometer, there was 10 stages of engine speed 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm, 4000 rpm, 4500 rpm, 5000 rpm and 5500 rpm.

The test results shown in the tables and graphs. The test results showed 40 A current administration produces the most torque and high power engine speed of 5,500 rpm available engine power 63.4 PS (46.6 kW) and power dynamometer 57 PS (42 kW), while at 3000 rpm engine speed torque engine 9.7 kg.m (95.9 Nm) and torque of 185.3 Nm dynamometer. The test results showed that the data obtained are not different from the results with data from Picanto car, then made dynamometer can be used to test the Picanto cars.

Keywords: Motor vehicles, dynamometer, Eddy currents

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Diponegoro, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HAKI yang berlaku di Universitas Diponegoro. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan dengan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh isi tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji hanya milik Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis telah berhasil menyelesaikan seluruh kegiatan penelitian sampai penulisan tesis ini. Penulis sangat menyadari bahwa terselesaikannya tesis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- a. Bapak Dr.Ir. Nazaruddin Sinaga, MS. yang memberikan arahan serta bimbingan selama berlangsungnya penelitian dan penyusunan tesis ini.
- b. Bapak Dr. Ir. A.P. Bayuseno, MSc, selaku ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang yang telah memberikan kesempatan untuk menempuh pendidikan program Pascasarjana di Universitas Diponegoro.
- c. Bapak Dr. Eng. Munadi, ST, MT. Selaku koordinator tesis Program Magister Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang atas bantuan yang diberikan dalam kelancaran penyusunan tesis.
- d. Bapak – ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
- e. Rekan-rekan mahasiswa S-2 Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan tesis ini.
- f. Keluarga, istri dan anakku tercinta atas dukungan dan doanya.
- g. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga kebaikan mereka mendapat kebaikan pula yang berlipat ganda. Amin. Penulis berharap karya kecil ini ada manfaatnya bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kritik dan saran membangun tentu sangat penulis harapkan demi penyempurnaan penelitian ini di masa yang akan datang.

Semarang, Mei 2012

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	2
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Pendahuluan	4
2.2 Dinamometer Penggerak	5
2.3 Dinamometer Absorber	5
2.4 Dinamometer Transmisi	12
2.5 Medan Magnet Statik	12
2.5.1 Daya Hantar Listrik	13
2.5.2 Medan Magnet Pada Solenoida	13
2.5.3 Permeabilitas	14
2.6 Torsi	15
2.7 Prinsip Operasi Daya Dinamometer	15
2.8 Daya Pendingin Dinamometer	16
2.9 Poros	17

2.10 Bantalan	21
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN DINAMOMETER	26
3.1 Perancangan	26
3.1.1 Ketentuan Umum	26
3.1.2 Alternatif Pemilihan Dinamometer Arus Eddy	26
3.1.3 Perancangan Dinamometer	28
3.1.4 Perhitungan Perancangan Dinamometer	30
3.1.5 Hasil Perancangan Dinamometer	39
3.2 Pembuatan	40
3.2.1 Pembuatan Stator	40
3.2.2 Pembuatan Rotor	42
3.2.3 Pembuatan Power Supply	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Hasil Pembuatan Dinamometer	44
4.2 Pengujian Dinamometer	45
4.3 Analisa Hasil Pengujian	49
4.4 Analisa Dan Diskusi	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
DAFTAR LAMPIRAN	70

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A.1 Daftar tahanan kawat belitan
- Lampiran A.2 Daftar kemampuan arus kabel
- Lampiran A.3 Daftar hambatan jenis
- Lampiran B.1 Unit instalasi pengujian dinamometer
- Lampiran B.2 Dinamometer
- Lampiran B.3 Roll, casing dinamometer
- Lampiran B.4 Power supply
- Lampiran B.5 Timbangan untuk beban
- Lampiran B.6 Tachometer untuk poros dinamometer
- Lampiran B.7 Tachometer untuk engine
- Lampiran B.8 Blower
- Lampiran B.9 Mobil KIA picanto 2008

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip kerja dinamometer	4
Gambar 2.2 Solenoida	13
Gambar 2.3 Segitiga kecepatan masuk dan keluar pada sudu	16
Gambar 3.1 Dinamometer arus Eddy pendingin udara	27
Gambar 3.2 Dinamometer arus Eddy pendingin air	28
Gambar 3.3 Hasil rancangan dinamometer	29
Gambar 3.4 Diagram alir daya dinamometer	30
Gambar 3.5 Segitiga kecepatan	32
Gambar 3.6 Diagram alir pemilihan bantalan	35
Gambar 3.7 Distribusi beban bantalan	36
Gambar 3.8 Rangkaian <i>power supply</i>	37
Gambar 3.9 Inti besi	39
Gambar 3.10 Belitan	39
Gambar 3.11 Sepatu kutub	40
Gambar 3.12 Rumah stator yang terpasang solenoid	40
Gambar 3.13 Stator yang terpasang poros	41
Gambar 3.14 Perakitan stator dengan poros	41
Gambar 3.15 Sudu	42
Gambar 3.16 Poros	42
Gambar 3.17 <i>Power supply</i>	43
Gambar 4.1 Hasil pembuatan dinamometer	44
Gambar 4.2 Hubungan dinamometer ke mesin penggerak	45
Gambar 4.3 Pengujian dinamometer	46
Gambar 4.4 Grafik putaran fungsi torsi dan daya <i>engine</i> mobil picanto	55
Gambar 4.5 Grafik putaran fungsi torsi dan daya <i>engine</i> I = 25 A	56
Gambar 4.6 Grafik putaran fungsi torsi dan daya <i>engine</i> I = 30 A	57
Gambar 4.7 Grafik putaran fungsi torsi dan daya <i>engine</i> I = 35 A	57
Gambar 4.8 Grafik putaran fungsi torsi dan daya <i>engine</i> I = 40 A	58
Gambar 4.9 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer 20 HP	59

Gambar 4.10 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer 100 HP	59
Gambar 4.11 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer 150 HP	60
Gambar 4.12 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer 200 HP	60
Gambar 4.13 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer 300 HP	61
Gambar 4.14 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer 400 HP	61
Gambar 4.15 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer 650 HP	62
Gambar 4.16 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer $I = 25 \text{ A}$...	63
Gambar 4.17 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer $I = 30 \text{ A}$...	63
Gambar 4.18 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer $I = 35 \text{ A}$...	64
Gambar 4.19 Grafik putaran fungsi torsi dan daya dinamometer $I = 40 \text{ A}$...	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Bahan poros yang umum digunakan	21
Tabel 2.2 Faktor-faktor V, X, Y	24
Tabel 2.3 <i>Ball Bearing Pillow Type Units UCP</i> (d 12-45)	25
Tabel 4.1 Data hasil pengujian I = 25 A	47
Tabel 4.2 Data hasil pengujian I = 30 A	48
Tabel 4.3 Data hasil pengujian I = 35 A	48
Tabel 4.4 Data hasil pengujian I = 40 A	49
Tabel 4.5 Data hasil perhitungan torsi dan daya dinamometer I = 25 A	50
Tabel 4.6 Data hasil perhitungan torsi dan daya dinamometer I = 30 A	51
Tabel 4.7 Data hasil perhitungan torsi dan daya dinamometer I = 35 A	51
Tabel 4.8 Data hasil perhitungan torsi dan daya dinamometer I = 40 A	52
Tabel 4.9 Data hasil perhitungan torsi dan daya <i>engine</i> I = 25 A	53
Tabel 4.10 Data hasil perhitungan torsi dan daya <i>engine</i> I = 30 A	53
Tabel 4.11 Data hasil perhitungan torsi dan daya <i>engine</i> I = 35 A	54
Tabel 4.12 Data hasil perhitungan torsi dan daya <i>engine</i> I = 40 A	54

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

MCB	=	Miniature Circuit Breaker
DC	=	Direct Current
A_k	=	Luas penampang kawat (mm^2)
ℓ_k	=	Panjang kawat (m)
ρ	=	Tahanan jenis kawat ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
V	=	Tegangan (Volt)
L_s	=	Panjang inti besi (m)
r_s	=	Jari-jari inti besi (m)
μ_o	=	<i>Permeabilitas ruang hampa (Wb/A.m)</i>
μ_r	=	Permeabilitas relatif
μ	=	Permeabilitas bahan (Wb/Am)
R_t	=	Tahanan total (Ω)
I	=	Arus (A)
Kell	=	Keliling inti besi (m)
A_s	=	Luas penampang inti besi (m^2)
N_{lilit}	=	Jumlah lilitan (lilit)
B	=	Medan magnet (Tesla)
T_{tot}	=	Torsi total (Nm)
D	=	Diameter sudu (m)
b	=	Lebar sudu (m)
β	=	Sudut jalan sudu (terajat)
n	=	Putaran (rpm)
ρ_{udara}	=	Massa jenis udara (kg/m^3)
U	=	Kecepatan tangensial (m/s)
ω	=	Kecepatan sudut (m/s)
W	=	Kecepatan relatif (m/s)
C	=	Kecepatan absolut (m/s)
Q	=	Debit (m^3/s)
P_p	=	Daya pendingin (KW)

P_D	=	Daya dinamometer (KW)
P_e	=	Daya engine (PS)
N_D	=	Putaran dinamometer (rpm)
N_e	=	Putaran engine (rpm)
T_D	=	Torsi dinamometer (Nm)
T_e	=	Torsi engine (Nm)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Berkembangnya teknologi yang sangat pesat disertai dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat berdampak pada kebutuhan sarana transportasi. Dalam kehidupan ini hampir semua orang menggunakan kendaraan bermotor, baik itu sepeda motor maupun mobil. Dalam pemilihan kendaraan bermotor, banyak hal-hal yang perlu dipertimbangkan antara lain model, kebutuhan dan performa. Salah satu faktor yang mempengaruhi performa dari suatu kendaraan bermotor adalah mesin kendaraan tersebut. Mesin sangat berpengaruh terhadap jalannya kendaraan, maka diperlukan alat uji untuk menentukan layak atau tidak kendaraan tersebut digunakan.

Pengujian daya pada mesin diperlukan alat dinamometer. Alat tersebut digunakan untuk mengukur torsi dan putaran poros (*rotation per minute*) yang dihasilkan oleh mesin yang diuji. Untuk menentukan kapasitas dinamometer tergantung dari daya pada mesin tersebut. Biasanya daya dinamometer ditentukan lebih besar 10-20 % dari daya mesin yang diuji.

Dinamometer merupakan suatu mesin elektro-mekanik yang digunakan untuk mengukur torsi dari tenaga yang diproduksi oleh suatu mesin kendaraan. Jenis dinamometer yang beredar di pasaran antara lain jenis dinamometer listrik arus Eddy. Dinamometer arus Eddy adalah penyerapan yang paling umum digunakan pada dinamometer *chasis* modern. Penyerapan arus Eddy dapat menghasilkan perubahan beban yang sangat cepat untuk penyelesaian beban. Kebanyakan menggunakan pendingin udara dan tidak membutuhkan pendingin air eksternal.

Di Laboratorium Efisiensi dan Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro sudah ada dinamometer jenis *Water Brake*. Dinamometer *Water Brake* ini memerlukan air yang banyak, maka diperlukan sebuah tandon air yang cukup dan sebuah mesin pompa air untuk mengalirkan air ke dinamometer dengan tekanan yang tinggi untuk mendapatkan beban yang besar.

Kapasitas dinamometer yang ada dipasaran untuk daya mesin besar, khususnya jenis dinamometer arus Eddy harganya sangat mahal. Dalam

perancangan ini, dinamometer yang direncanakan untuk melengkapi Laboratorium Efisiensi dan Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro mempunyai kapasitas 130 kW dengan jenis dinamometer arus Eddy, maka untuk menekan biaya salah satu pilihan adalah dengan cara membuat.

1.2 Perumusan Masalah

Perancangan dan pembuatan dinamometer ini diterapkan beberapa rumusan masalah yang akan membantu mempermudah dalam melakukan pembuatan antara lain :

1. Mendapatkan nilai daya yang optimal untuk pengujian kendaraan bermotor dengan kapasitas 130 kW
2. Mendapatkan hasil perancangan akhir yang bersifat mudah dioperasikan, handal dan ekonomis.

1.3 Tujuan Penelitian

Setelah dibahas pada bagian perumusan masalah sebelumnya, tujuan ini adalah:

1. Membuat dan merancang dinamometer arus Eddy kapasitas 130 kW
2. Melakukan pengujian kinerja dinamometer hasil pembuatan.

1.4 Ruang Lingkup

Batasan-batasan pembahasan yaitu :

1. Memvariasikan kecepatan putaran
2. Mencari kecepatan putaran maksimum untuk mendapatkan daya maksimum
3. Melakukan analisa hasil pengujian guna merekomendasikan kondisi operasional yang terbaik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari hasil ini adalah sebagai dasar perancangan dan pembuatan dinamometer arus Eddy pendingin udara untuk pengujian performa kendaraan bermotor di laboratorium Efisiensi dan Konservasi Energi MTM Undip Semarang.

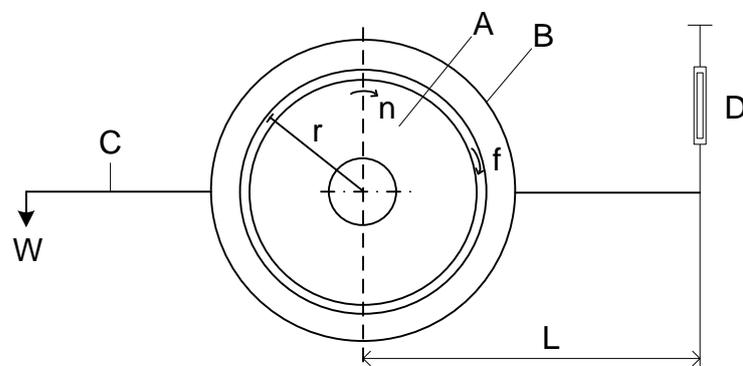
1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan tesis ini terbagi atas 5 bab. Bab-bab tersebut adalah: Bab I Pendahuluan, Bab II Dasar Teori, Bab III Perancangan dan pembuatan, Bab IV Hasil dan pembahasan, serta Bab V Kesimpulan dan saran. Pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Dinamometer berisi tentang pendahuluan, dinamometer penggerak, dinamometer absorber, dinamometer transmisi, poros, sudu, medan magnet statik, daya hantar listrik, medan magnet pada solenoida, permeabilitas, torsi dan prinsip operasi daya dinamometer. Perancangan dan pembuatan berisi tentang ketentuan umum, alternatif pemilihan dinamometer arus Eddy, perancangan alat, perhitungan perancangan dinamometer, alat dan bahan, langkah pembuatan. Hasil dan pembahasan berisi tentang hasil perancangan dan data hasil pengujian. Sedangkan pada bagian akhir tesis ini akan ditutup dengan kesimpulan dan saran.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Dinamometer merupakan suatu mesin elektro-mekanik yang digunakan untuk mengukur torsi dan kecepatan dari tenaga yang diproduksi oleh suatu mesin motor atau penggerak berputar lain. Meskipun banyak tipe-tipe dinamometer yang digunakan, tetapi pada prinsipnya semua itu bekerja seperti dilukiskan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Dinamometer

(Pusat pengembangan bahan ajar-UMB)

Keterangan :

r : Jari-jari rotor (ft)

W : Beban pengimbang (N)

f : Gaya kopel (ft.lb)

Prinsip kerjanya adalah : Rotor A diputar oleh sumber daya motor yang diuji, dengan stator dalam keadaan setimbang. Bila dalam keadaan diam maka ditambahkan sebuah beban pengimbang W yang dipasangkan pada lengan C dan diengselkan pada stator B. Karena gesekan yang timbul, maka gaya yang terjadi di dalam stator diukur dengan timbangan D dan penunjukannya merupakan beban atau muatan dinamometer. Dalam satu poros, keliling rotor bergerak sepanjang $2\pi.r$ melawan gaya kopel f . Jadi tiap putaran adalah : $2\pi.r.f$

Momen luar yang dihasilkan dari pembacaan D dan lengan L harus setimbang dengan momen putar yaitu $r \times f$, maka $r \times f = D \times L$. Jika motor

berputar dengan n putaran tiap menit, maka kerja per menit harus sama dengan $2\pi \cdot D \cdot L \cdot n$, harga ini merupakan suatu daya, karena menurut definisi daya dibatasi oleh waktu, kecepatan putar dan kerja yang terjadi.

2.2 Dinamometer Penggerak

Dinamometer ini dalam bentuk motor-generator. Prinsip kerjanya adalah bila dinamometer memutar suatu alat, maka momen yang diukur akan mempengaruhi dinamometer berputar ke arah yang berlawanan dengan arah putarannya sendiri. Dinamometer ini bisa sebagai motor atau generator. Keuntungan dan kerugian dinamometer ini sama dengan dinamometer ayunan listrik atau generator.

2.3 Dinamometer Absorber

Sesuai dengan namanya dinamometer ini menyerap daya yang diukur kemudian disebarkan sekelilingnya dalam bentuk panas karenanya dinamometer ini secara khusus bermanfaat untuk pengukuran tenaga atau daya, torsi yang dikembangkan oleh sumber-sumber tenaga seperti motor bakar, motor listrik dan sebagainya. Dinamometer ini dibagi menjadi empat macam yaitu :

a. Dinamometer mekanis :

Pada dinamometer ini penyerapan daya dilaksanakan dengan memberikan gesekan mekanis sehingga timbul panas. Panas ini dipindahkan sekeliling dan kadang-kadang juga didinginkan oleh fluida pendingin yang lain, misalkan air.

Yang termasuk dalam bentuk ini ialah :

1). Rem jepit atau *prony brake* dengan bahan kayu

Penyerapan daya dilakukan dengan jalan mengatur gesekan yang terjadi antara balok-balok kayu dengan rotor, dimana pengaturannya dilaksanakan dengan memutar baut pengatur. Rem ini terdiri dari balok-balok kayu yang dipasang antara rotor dan sabuk baja, sedang rotor bekerja pada poros dari suatu motor yang tenaganya akan diuji. Tipe rem jepit ini biasanya digunakan untuk pengukuran daya yang tidak terlalu besar dengan putaran poros maksimum 1000 rpm.

Keuntungan-keuntungan :

- a). Kontruksi sederhana, murah dan mudah dibuat
- b). Baik untuk putaran rendah

Kerugian-kerugian :

- a). Torsi yang konstan pada tiap tekanan, sehingga mengikuti syarat-syarat beban. Bila mesin kehilangan kecepatannya, rem akan menahan sampai mati
- b). Sukar menunjukkan beban yang konstan
- c). Untuk pengukuran daya dari mesin-mesin tanpa governor akan menemui kesulitan
- d). Pada kecepatan tinggi pembacaan tidak stabil.

2). Rem tali atau *rope brake*

Cara kerja dari rem ini hampir sama dengan rem jepit, hanya rem ini terdiri dari tali disekeliling roda. Bahan tali biasanya kulit, ujung tali yang satu dikaitkan pada suatu *spring balance* dan ujung satunya lagi diberi beban, penyerapan daya dilakukan oleh tali karena gesekan dengan roda. Rem tali sangat sederhana dan mudah dibuat, tetapi hanya bisa bekerja pada putaran rendah dengan kapasitas penyerapan daya kecil.

b. Dinamometer hidrolis atau dinamometer air :

Adalah menggunakan fluida cair untuk mengubah daya mekanis menjadi energi panas. Fluida yang digunakan biasanya air sehingga dinamometer ini sering disebut dinamometer air.

Ada dua macam dinamometer air yaitu :

1). Dinamometer air tipe gesekan fluida

Pada dasarnya dinamometer ini terdiri dari sebuah rotor atau elemen putar dengan kedua belah permukaannya rata, berputar dalam sebuah *casing* serta *casing* tersebut diisi dengan air, selanjutnya air fluidanya disirkulasi secara kontinu. Akibat sirkulasi tersebut terjadi pergesekan pada bagian fluidanya.

Kapasitas dinamometer jenis ini tergantung pada 2 faktor yaitu kecepatan putaran poros dan tinggi permukaan air. Penyerapan dayanya mendekati mendekati fungsi pangkat tiga dari kecepatan putaran poros atau

rotor. Penyerapan pada kecepatan tertentu bisa dilakukan dengan pengaturan tinggi permukaan air pada atau dalam *casing*. Jumlah air yang bersirkulasi harus cukup banyak agar tidak sampai terjadi uap dibagian manapun dari alat, karena dengan timbulnya uap tersebut akan mengakibatkan hilangnya beban sesaat ataupun tidak.

Menurut Gibson, Usaha yang dilakukan atau yang dikerjakan pada tiap-tiap permukaan dari piringan adalah sebagai berikut :

$$U = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \omega^3 \cdot \int_{R_2}^{R_1} R^4 \cdot dR \quad (2.1)$$

Diintegrasikan,

$$U = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \omega^3}{5} (R_1^5 - R_2^5) \quad (2.2)$$

Dimana,

$$\omega = \text{Kecepatan sudut (radian per detik) atau } \omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

n = Putaran tiap detik

R_1 = Jari-jari piringan (m)

R_2 = Jari-jari lingkaran (m)

f = Konstanta = 0,004 ini tergantung dari tahanan antara fluida dengan logam

Dari rumus di atas terbukti bahwa rem tipe ini dapat menyerap daya yang besar pada kecepatan yang tinggi, dari kapasitas yang berlainan langsung sebagai jumlah piringan-piringan, sehingga merupakan pangkat tiga dari jumlah putaran dan sebagai pembedaan pangkat lima dari jari-jari piringan dan jari-jari air. Rem air hanya cocok untuk menyerap kerja yang umum dan cukup baik untuk menguasai beban konstan yang terpecah-pecah pada kecepatan yang diinginkan, karena efek tenaganya disebabkan oleh perubahan air.

Keuntungan-keuntungan :

- a). Penyerapan daya besar pada kecepatan tinggi
- b). Bila mesin kehilangan kecepatannya, maka pengereman akan turun dengan cepat sehingga mesin tidak mati
- c). Perubahan beban mudah dilaksanakan dan tahan terhadap guncangan

Kerugian-kerugian :

- a). Air harus selalu diganti
- b). Bagian dalam dipengaruhi oleh erosi dan korosi
- c). Harga mahal.

2). Dinamometer air tipe agitasi (semburan)

Bentuk dari dinamometer ini hampir sama dengan bentuk dinamometer gesekan fluida, tetapi ada perbedaan diantara kedua bentuk tersebut yaitu terletak pada cara penyerapan daya. Selain dengan gesekan karena agitasi, sehingga dinamometer ini relatif lebih besar.

Dinamometer ini terdiri dari sebuah poros yang memegang sebuah rotor dan berputar di dalam *casing* yang tidak bisa dimasuki air. Di setiap permukaan rotor terdapat sejumlah baling-baling radial yang dipasang pada poros rotor. Ruang antara baling-baling ini membentuk poket-poket setengan elip, juga pada permukaan *casing* dilengkapi dengan baling-baling seperti pada rotor. Bila rotor digerakkan, air disemburkan keluar oleh tenaga sentripugal. Air yang disemburkan itu ditahan oleh poket-poket *casing* dan poket-poket *casing* berfungsi untuk mengembalikan air ke rotor, sehingga air itu terus bolak-balik antara poket rotor dan poket *casing*. Ini merupakan proses turbulensi yang tinggi yang terus terjadi berulang-ulang. Akibat proses turbulensi maka akan terjadi panas, tetapi panas ini dapat dihilangkan dengan jalan mengatur luapan air yang terus menerus mengisi bagian belakang poket-poket *casing* dengan sebuah pipa karet yang *flexible*, selanjutnya air tidak boleh melebihi 60°C.

Muatan pada mesin bisa diubah dengan atau memundurkan pintu geser yang terletak antara rotor dan poket *casing*, jadi memungkinkan *casing* bekerja secara aktif dalam formasi pusaran air yang menyerap tenaga. Pergerakan pintu geser diatur dengan sebuah *hand wheel* yang terletak pada bagian luar *casing*.

Poros rotor pada *casing* bergerak atau berputar di dalam *bearing* juga dilengkapi dengan penekan anti air (*water seal*), sedang *casing* ditumpu pada *trunion bearing* yang berbentuk bola besar (*self lining*)

dan juga pada *casing* dilekatkan sebuah lengan torsi yang dihubungkan dengan sebuah *spring balance*. Kedudukan *spring balance* jarumnya harus menunjuk nol (berarti dinamometer dalam keadaan setimbang) pada waktu berhenti dan pada waktu air mengalir masuk *casing* tetapi mesin belum bekerja. Kesetimbangan ini dapat dilakukan dengan memberi pada *casing* suatu beban penyeimbang yang sudah dikalibrasi terlebih dahulu. Daya pengukuran antara 50 HP sampai 100.000 HP dan bekerja pada kecepatan 50 rpm sampai 20.000 rpm.

Keuntungan-keuntungan :

- a). Kapasitas daya penyerapan besar dan putaran tinggi
- b). Tahan terhadap guncangan
- c). Bentuknya kecil

Kerugian-kerugian :

- a). Diperlukan aliran air dengan tekanan tertentu
- b). Temperatur air yang keluar tidak boleh lebih dari 60°C
- c). Dipengaruhi oleh erosi dan korosi
- d). Harganya mahal.

c. Dinamometer udara :

Untuk menyerap daya yang diukur, dinamometer ini menggunakan udara atmosfer. Penyerapan daya yang terjadi karena gesekan yang timbul antara udara dengan sebuah rotor berupa kipas yang berputar.

Pengaturan bebannya dengan merubah radius kipas, ukuran atau sudut kipas. Dengan memasang mesin pada bantalan ayun, maka reaksi mesin yang timbul karena gesekan yang terjadi antara rotor dengan udara akan terbaca pada skala.

Keuntungan-keuntungan :

- a). Tidak memerlukan pendinginan
- b). Untuk beban konstan dan waktu pengujian lama sangat baik
- c). Mudah dibuat, murah dan sederhana.

Kerugian-kerugian :

- a). Kesukaran merubah beban pada waktu mesin berjalan
- b). Kapasitas penyerapan daya kecil

- c). Pengukuran tenaga tidak teliti, jadi hanya merupakan pendekatan
- d). Harus dilakukan koreksi terhadap kondisi atmosfer
- e). Suaranya gaduh.

d. Dinamometer listrik :

Pada dasarnya pengereman yang terjadi pada dinamometer listrik akibat pemotongan medan magnet oleh pergerakan bahan konduktor. Ada 2 tipe dinamometer listrik yaitu :

1) Dinamometer arus Eddy

Dinamometer ini terdiri dari suatu rotor yang digerakkan oleh suatu motor yang tenaganya akan diukur dan berputar dalam medan magnet. Kekuatan medan magnetnya dikontrol dengan merubah arus sepanjang susunan kumparan yang ditempatkan pada kedua sisi dari rotor. Rotor ini bertindak sebagai konduktor yang memotong medan magnet. Karena pemotongan medan magnet itu maka terjadi arus dan arus ini diinduksikan dalam rotor sehingga rotor menjadi panas.

Dinamometer arus Eddy pendingin air :

Sistem pendinginannya dengan air yang dialirkan lewat pipa masuk ke plat rugi-rugi

Keuntungan-keuntungan :

- a). Pengaturan beban dan pemeliharaan mudah
- b). Pada kecepatan yang rendah penyerapan daya bisa penuh.

Kerugian-kerugian :

- a). Harus tersedia sumber arus searah yang besar
- b). Pada penyerapan daya yang besar, panas yang timbul menyulitkan pendingin
- c) Bagian yang dilalui air pendingin dipengaruhi erosi dan korosi.

Dinamometer arus Eddy pendingin udara :

Dinamometer ini terdiri dari suatu rotor yang digerakkan oleh suatu motor yang tenaganya akan diukur dan berputar dalam medan magnet. Kekuatan medan magnetnya dikontrol dengan merubah arus sepanjang susunan kumparan yang ditempatkan pada stator. Rotor ini ditempatkan pada kedua

sisi stator dan bertindak sebagai konduktor yang memotong medan magnet. Karena pemotongan medan magnet itu maka terjadi arus dan arus ini diinduksikan dalam plat rugi-rugi sehingga menjadi panas.

Keuntungan-keuntungan :

- a). Pengaturan beban dan pemeliharaan mudah
- b). Pada kecepatan yang rendah penyerapan daya bisa penuh
- a). Penyediaan sumber arus searah kecil.

Kerugian-kerugian :

- a). Harus tersedia pendinginan yang besar
- b). Pada penyerapan daya yang besar, panas yang timbul menyulitkan pendingin

2) Dinamometer ayunan listrik atau generator

Pada prinsipnya bidang gerak dinamometer ini diputar secara terpisah baik dengan mengutamakan pipa-pipa saluran utama atau *buttery* yang mempertahankan suatu tegangan yang konstan. Seluruh mesin ditumpu dengan *ball bearing*, *casing* menahan sebuah lengan torsi untuk menjadikan seimbang torsi mesin. Torsi mesin disebarkan pada *casing* oleh daya tarik medan magnet yang dihasilkan ketika jangkar sedang berputar dan mengeluarkan tenaga listriknya pada aliran sebelah luar dinamometer. Tenaga mesin yang diserap akan membangkitkan tenaga listrik di dalam rangkaian jangkar. Dinamometer dipasang pada bantalan ayun dan mengukur momen yang ditimbulkan karena kecenderungan *casing* berputar.

Keuntungan-keuntungan:

- a). Kapasitas penyerapan sampai 5000 HP dan ketelitian kerja tinggi
- b). Sistem yang tertutup tidak terpengaruh oleh gangguan luar
- c). Tidak memerlukan pendinginan.

Kerugian-kerugian :

- a). Harga mahal
- b). Untuk penyerapan daya yang besar dengan kecepatan yang rendah sulit dilaksanakan.

2.4 Dinamometer Transmisi

Dinamometer transmisi digunakan untuk mengukur daya yang sulit dilaksanakan dengan cara biasa, pemasangannya bisa dilakukan dengan cara meletakkan pada bagian mesin atau diantara dua buah mesin dan daya yang diukur adalah daya setempat dan biasanya daya ini dimanfaatkan sebagai energi mekanis atau energi listrik. Salah satu contoh dari dinamometer transmisi ialah tipe *strain gage*. Pengukurannya berdasarkan tegangan kawat dan perubahan pada tegangan kawat akan merubah tahanan listrik.

Dengan pemasangan elemen ukur, maka untuk tiap pasang elemen ukur yang satu akan mengalami kompresi murni sedangkan elemen yang lainnya mengalami tarikan murni. Pada tiap pasang elemen ini akan terjadi perubahan tahanan listrik karena lengkungan yang mungkin terjadi pada poros, sehingga yang diukur adalah puntiran poros.

Keuntungan-keuntungan :

- a). Dapat mengukur daya input dari suatu alat
- b). Pengukuran bisa dilaksanakan dimana saja tanpa mengganggu sistem
- c). Pada pengukuran, pembebanan dilakukan oleh sistem tersendiri
- d). Tidak memerlukan pendingin.

Kerugian-kerugian :

- a). Poros harus cukup *flexible* sehingga puntiran karena beban dapat teramati
- b). Diperlukan beban tersendiri kadang-kadang tidak mudah pelaksanaannya.

2.5 Medan Magnet Statik

Menurut teori atom dari Wilhem Edwards Weber (1852), bahwa semua benda mempunyai sifat magnet. Hal ini disebabkan adanya gerakan electron pada orbit/lintasannya. Bila dua buah elektron berputar dengan arah yang berlawanan, akan membentuk sepasang medan magnet yang berpolaritas tidak sama dan saling menetralkan.

Pada bahan ferromagnetik banyak elektron yang berputar dengan arah yang sama, sehingga menimbulkan pengaruh magnetik yang lebih kuat. Susunan molekul dari bahan ferromagnetik terbentuk dari bagian-bagian kecil yang disebut

domain. Setiap domain merupakan magnet dipole elementer dan mengandung 10^{12} sampai 10^{15} atom.

2.5.1 Daya Hantar Listrik

Setiap dari penghantar mempunyai nilai daya hantar listrik yang berbeda-beda tergantung dari bahan yang digunakan, karena di dalam setiap bahan mempunyai hambatan dalam.

Besarnya hambatan tersebut dapat dihitung dengan rumus :

$$R = \frac{\rho \times \ell}{A} \quad (2.3)$$

Dimana :

R = Besarnya hambatan (Ω)

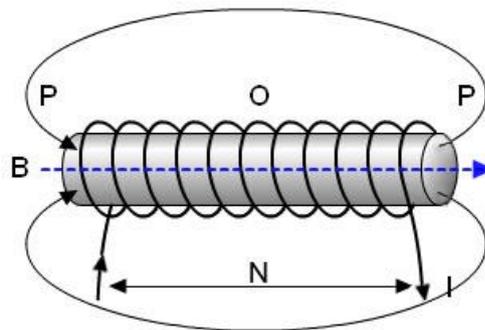
ℓ = Panjang penghantar (m)

ρ = Hambatan jenis ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)

A = Luas penampang (m^2)

2.5.2 Medan Magnet pada Solenoida

Sebuah kawat dibentuk seperti spiral yang selanjutnya disebut kumparan, apabila dialiri arus listrik maka akan berfungsi seperti magnet batang.



Gambar 2.3. Solenoida

Besarnya medan magnet disumbu pusat (titik O) solenoida dapat dihitung :

$$B_o = \frac{\mu_o \cdot I \cdot N}{L} \quad (2.4)$$

Dimana :

$B_0 =$ medan magnet pada pusat solenoida dalam tesla (T)

$\mu_0 =$ permeabilitas ruang hampa = $4\pi \cdot 10^{-7}$ Wb/Am

$I =$ kuat arus listrik dalam ampere (A)

$N =$ jumlah lilitan dalam solenoida

$L =$ panjang solenoida dalam meter (m)

Besarnya medan magnet di ujung solenoida (titik P) dapat dihitung:

$$B_p = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{L} \quad (2.5)$$

Dimana :

$B_p =$ Medan magnet diujung solenoida dalam tesla (T)

$N =$ jumlah lilitan pada solenoida dalam lilitan

$I =$ kuat arus listrik dalam ampere (A)

$L =$ Panjang solenoida dalam meter (m)

2.5.3 Permeabilitas.

Menurut satuan internasional, permeabilitas hampa udara mempunyai nilai $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am atau $12,57 \times 10^{-7}$ Wb/Am. Nilai permeabilitas bahan magnet adalah tidak konstan, dimana sebagian besar tergantung pada besarnya kekuatan magnetisasi yang dikenakan padanya. Besarnya permeabilitas suatu bahan magnet selalu diperbandingkan terhadap permeabilitas hampa udara, dimana perbandingan tersebut disebut permeabilitas relatif. Permeabilitas relatif didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (2.6)$$

Dimana, $\mu_r =$ permeabilitas relatif

$\mu_0 =$ permeabilitas hampa udara (Wb/Am)

$\mu =$ permeabilitas bahan (Wb/Am)

2.6 Torsi

$$T = B \cdot I \cdot A \cdot N \quad (2.7)$$

Dimana :

B = Medan magnet (T)

I = Arus listrik (A)

A = Luas penampang solenoida (m^2)

N = Jumlah lilitan

2.7 Prinsip Operasi Daya Dinamometer

Tindakan sebuah dinamometer menyerap sebagai beban yang digerakkan oleh penggerak utama yang sedang diuji. Dinamometer harus mampu beroperasi pada kecepatan dan beban apapun untuk setiap tingkat torsi yang dibutuhkan. Daya yang diserap oleh dinamometer diubah menjadi panas dan panas umumnya terdisipasi ke udara atau ditransfer ke pendingin air yang terdisipasi ke udara.

Pada dinamometer daya (P) tidak diukur secara langsung, melainkan dihitung dari torsi (T) dan nilai-nilai kecepatan sudut (ω) atau gaya (F) dan kecepatan linear (v) :

$$P = T \cdot \omega$$

Atau

$$P = F \cdot v \quad (2.8)$$

Dimana :

P adalah daya dalam watt

T adalah torsi dalam newton meter

ω adalah kecepatan sudut dalam radian per detik

F adalah gaya dalam newton

v adalah kecepatan linear dalam meter per detik

Pembagian dengan konversi yang konstan mungkin diperlukan tergantung pada unit ukuran yang digunakan.

Untuk satuan HP,

$$P_{hp} = \frac{T \cdot n}{5252} \quad (2.9)$$

Fluida mengalir ke bagian punggung dari sudu jalan yang melengkung. Adanya gaya sentrifugal fluida yang ada pada saluran sudu jalan tersebut menjadi bergerak maju dan didorong keluar dari saluran sudu jalan. Akibat berputarnya roda jalan dengan kecepatan u dan didapat kecepatan relatif aliran fluida di bagian masuk w_1 dan kecepatan relatif di bagian keluar w_2 .

Pada titik 2 fluida mempunyai kecepatan mutlak c_2 , yang didapat dengan melalui penggambaran segitiga keluar dari w_2 , u_2 dan sudut keluar sudu β_2 yang besarnya dipilih dengan bebas.

Perpindahan energi di dalam sudu jalan adalah dari momen puntir (M) yang bekerja pada poros yang diteruskan sedemikian rupa oleh sudu jalan sehingga menimbulkan kecepatan absolut fluida c_2 dan c_1 dengan komponen tangensialnya c_{u2} dan c_{u1} . Momen puntir yang diperoleh adalah :

$$M = \dot{m} (r_2 \cdot c_{u2} - r_1 \cdot c_{u1}) \quad (2.12)$$

Momen puntir ini akan mendapatkan daya sesuai dengan daya yang diberikan poros

$P = M \cdot \omega$, dimana ω adalah kecepatan sudut.

$$P = \dot{m} \cdot (r_2 \cdot \omega \cdot c_{u2} - r_1 \cdot \omega \cdot c_{u1}) \quad (2.13)$$

dimana $r \cdot \omega = u =$ kecepatan keliling (kecepatan tangensial).

(Frizt Dietzel, 1988)

2.9 Poros

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari suatu mesin dan hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Poros adalah untuk menopang bagian mesin yang diam, berayun atau berputar, tetapi tidak menderita momen putar dan dengan demikian tegangan utamanya adalah tekukan (bending). Poros (keseluruhannya berputar) adalah untuk mendukung suatu momen putar dan mendapat tegangan puntir dan tekuk. Menurut arah memanjangnya (longitudinal) maka dibedakan poros yang bengkok (poros engkol) terhadap poros lurus biasa, sebagai poros pejal atau poros berlubang, keseluruhannya rata atau dibuat mengecil. Menurut penampang melintangnya disebutkan sebagai poros bulat dan poros profil.

a. Fungsi Poros

Poros dalam sebuah mesin berfungsi untuk meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Setiap elemen mesin yang berputar, seperti cakra tali, puli sabuk mesin, piringan kabel, tromol kabel, roda jalan dan roda gigi, dipasang berputar terhadap poros dukung yang tetap atau dipasang tetap pada poros dukung yang berputar. Contohnya sebuah poros dukung yang berputar, yaitu poros roda keran berputar gerobak.

Untuk merencanakan sebuah poros, maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

1). Kekuatan poros

Pada poros transmisi misalnya dapat mengalami beban puntir atau lentur atau gabungan antara puntir dan lentur. Juga ada poros yang mendapatkan beban tarik atau tekan, seperti poros baling-baling kapal atau turbin. Kelelahan tumbukan atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil (poros bertangga) atau bila poros mempunyai alur pasak harus diperhatikan. Jadi, sebuah poros harus direncanakan cukup kuat untuk menahan beban-beban yang terjadi.

2). Kekakuan poros

Walaupun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup, tetapi jika lenturan dan defleksi puntirannya terlalu besar, maka hal ini akan mengakibatkan ketidaktepatan (pada mesin perkakas) atau getaran dan suara (misalnya pada turbin dan kotak roda gigi).

3). Putaran kritis

Putaran kritis terjadi jika putaran mesin dinaikkan pada suatu harga putaran tertentu sehingga dapat terjadi getaran yang terlalu besar. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian yang lainnya. Untuk itu, maka poros harus direncanakan sedemikian rupa sehingga putaran kerjanya lebih rendah dari putaran kritis.

4). Korosi

Bahan-bahan tahan korosi harus dipilih untuk poros propeller dan pompa bila terjadi kontak dengan fluida yang korosif. Demikian pula untuk poros-poros yang terancam kavitas dan poros mesin yang sering berhenti lama.

5. Bahan poros

Bahan untuk poros mesin umum biasanya terbuat dari baja karbon konstruksi mesin, sedangkan untuk pembuatan poros yang dipakai untuk meneruskan putaran tinggi dan beban berat umumnya dibuat dari baja paduan dengan pengerasan kulit yang sangat tahan terhadap keausan. Beberapa diantaranya adalah baja khrom nikel, baja khrom, dan baja khrom molybdenum.

b. Macam – Macam Poros

Poros sebagai penerus daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut:

1). Poros transmisi

Poros transmisi atau poros perpindahan mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Dalam hal ini mendukung elemen mesin hanya suatu cara, bukan tujuan. Jadi, poros ini berfungsi untuk memindahkan tenaga mekanik salah satu elemen mesin ke elemen mesin yang lain.

Dalam hal ini elemen mesin menjadi terpuntir (berputar) dan dibengkokkan. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli sabuk atau sproket rantai, dan lain-lain.

2). Spindle

Poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran, disebut spindle. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya yang harus kecil, dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

3). Gandar

Gandar adalah poros yang tidak mendapatkan beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar. Contohnya seperti yang dipasang diantara roda-roda kereta barang.

c. Daya poros

Daya yang diberikan dalam daya kuda, maka harus dikalikan 0,735 untuk mendapatkan daya dalam kW. Daya yang direncanakan P (kW) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{\left(\frac{T}{1000}\right)\left(\frac{2\pi n}{60}\right)}{102} \quad (2.14)$$

Jadi momen puntir juga disebut sebagai momen rencana adalah T (kg.mm) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{P}{n} \quad (2.15)$$

Bila momen rencana T (kg.mm) dibebankan pada suatu diameter poros d_s (mm), maka tegangan geser τ (kg/mm²) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{T}{\left(\pi d_s^3 / 16\right)} = \frac{5,1 T}{d_s^3} \quad (2.16)$$

Menurut standar ASME tegangan geser yang diijinkan τ_a (kg/mm²) adalah 18 % dari kekuatan tarik σ_B (kg/mm²). Faktor koreksi (K_t) yang dianjurkan oleh ASME adalah sebesar 1,0 jika beban dikenakan secara halus, 1,0 sampai 1,5 jika terjadi sedikit kejutan atau tumbukan dan 1,5 sampai 3,0 jika beban dikenakan kejutan atau tumbukan besar. Jika diperkirakan akan terjadi pemakaian beban lentur, maka dapat dipertimbangkan pemakaian faktor lenturan C_b yang harganya antara 1,2 sampai 2,3 (jika diperkirakan tidak terjadi pembebanan lentur maka $C_b = 1,0$). Untuk menghitung diameter poros d_s (mm) sesuai persamaan (2.16) dapat dirumuskan sebagai berikut (Sularso, 2004) :

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{1/3} \quad (2.17)$$

Tabel 2.1 Bahan Poros Yang Umum Digunakan (Niemen G, 1994)

Nama Bahan	Kekuatan tarik σ_B N/mm ²	Kekerasan HV	Kekuatan tekuk N/mm ²		Kekuatan torsi N/mm ²	
			σ_{bW}	σ_{bSch}	τ_{tW}	τ_{tSch}
St 42-2	420... 500	115(450)	220	360	150	180
St 50-2	500... 600	135(530)	260	420	180	210
St 60-2	600... 720	165(720)	300	470	210	230
St 70-2	700... 850	190	340	520	240	260
C 22, Ck 22	500... 650	150	280	490	190	250
C 35, Ck 35	590... 740	140(530)	330	550	230	300
C 45, Ck 45	670... 820	170(720)	370	630	260	340
25CrMo4	800... 950	186(610)	430	730	300	450
34Cr4	900... 1100	229(670)	480	810	330	550
C 15, Ck 15	500... 650 ³	140(840)	260	420	180	210
16MnCr5	800... 1100 ³	210(840)	390	670	270	430

2.10 Bantalan

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros, sehingga putaran gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan tahan lama. Posisi bantalan harus kuat, hal ini agar elemen mesin dan poros bekerja dengan baik.

Berdasarkan gerakan bantalan terhadap poros, maka bantalan dibedakan menjadi dua hal berikut:

- Bantalan luncur, dimana terjadi gerakan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan lapisan pelumas.
- Bantalan gelinding, dimana terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding seperti rol atau jarum.

Berdasarkan arah beban terhadap poros, maka bantalan dibedakan menjadi tiga hal berikut :

- Bantalan radial, dimana arah beban yang ditumpu bantalan tegak lurus dengan poros.
- Bantalan aksial, dimana arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros.
- Bantalan gelinding khusus, dimana bantalan ini menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus sumbu poros.

Berikut ini akan kami jabarkan dari berbagai jenis bantalan di atas sebagai berikut :

a. Bantalan Luncur

Menurut bentuk dan letak bagian poros yang ditumpu bantalan. Salah satunya adalah bantalan luncur.

Adapun macam – macam bantalan luncur adalah sebagai berikut:

- 1). Bantalan radial, dapat berbentuk silinder, elips, dan lain-lain.
- 2). Bantalan aksial, dapat berbentuk engsel kerah Michel, dan lain-lain.
- 3). Bantalan khusus, bantalan ini lebih ke bentuk bola.

Bahan untuk bantalan luncur harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1). Mempunyai kekuatan cukup.
- 2). Dapat menyesuaikan diri terhadap lenturan poros yang tidak terlalu besar.
- 3). Mempunyai sifat anti las.
- 4). Sangat tahan karat.
- 5). Dapat membenamkan debu yang terbenam dalam bantalan.
- 6). Ditinjau dari segi ekonomi.
- 7). Tidak terlalu terpengaruh oleh temperatur.

b. Bantalan Aksial

Bantalan aksial digunakan untuk menahan gaya aksial. Adapun macamnya, yaitu bantalan telapak dan bantalan kerah. Pada bantalan telapak, tekanan yang diberikan oleh bidang telapak poros kepada bidang bantalan semakin besar untuk titik yang semakin dekat dengan pusat.

c. Bantalan Gelinding

Keuntungan dari bantalan ini mempunyai gesekan yang sangat kecil dibandingkan dengan bantalan luncur. Macam – macam bantalan gelinding diantaranya:

- 1). Bantalan bola radial alur dalam baris tunggal.
- 2). Bantalan bola radial magneto.
- 3.) Bantalan bola kontak sudut baris tunggal.
- 4). Bantalan bola mapan sendiri baris ganda.

Perhitungan beban dan umur bantalan gelinding dapat ditentukan sebagai berikut :

1) Perhitungan beban

Sebuah bantalan yang mempunyai beban radial F_r (kg) dan beban aksial F_a (kg), maka beban ekuivalen dinamis P (kg) adalah sebagai berikut :

$$\text{Untuk bantalan radial, } P_r = XV F_r + Y F_a \quad (2.18)$$

$$\text{Untuk bantalan aksial, } P = X F_r + Y F_a \quad (2.19)$$

Faktor V sama dengan 1 untuk pembebanan pada cincin dalam yang berputar dan 1,2 untuk pembebanan pada cincin luar yang berputar. Harga-harga X dan Y terdapat pada tabel 2.2.

2) Perhitungan umur

Umur nominal L bantalan gelinding dapat ditentukan pada beban dinamis spesifik C (kg) dan beban ekuivalen dinamis P (kg), maka faktor kecepatan f_n adalah :

$$\text{Untuk bantalan bola, } f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{1/3}$$

$$\text{Untuk bantalan rol, } f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{3/10} \quad (2.20)$$

Faktor umur adalah :

$$\text{Untuk kedua bantalan, } f_h = f_n \frac{C}{P} \quad (2.21)$$

Umur nominal L_h adalah :

$$\text{Untuk bantalan bola, } L_h = 500 f_h^3$$

$$\text{Untuk bantalan rol, } L_h = 500 f_h^{10/3} \quad (2.22)$$

3) Faktor beban

Faktor beban f_w untuk putaran halus tanpa beban tumbukan seperti pada motor listrik sama dengan 1 sampai 1,1 , untuk kerja biasa seperti pada roda gigi sama dengan 1,1 sampai 1,3 , untuk kerja dengan tumbukan seperti pada alat-alat besar sama dengan 1,2 sampai 1,5 dan untuk beban maksimum dapat diambil sama dengan 1.

Sedangkan beban rata-rata P_m dapat dihitung sebagai berikut :

Pada putaran bervariasi,

$$P_m = \sqrt[p]{\frac{t_1 n_1 P_1^p + t_2 n_2 P_2^p + \dots + t_n n_n P_n^p}{(t_1 + t_2 + \dots + t_n) n_m}} \quad (2.23)$$

Pada putaran tetap,

$$P_m = \sqrt[p]{\alpha_1 P_1^p + \alpha_2 P_2^p + \dots + \alpha_n P_n^p} \quad (2.24)$$

Dimana $p = 3$ untuk bantalan bola dan $10/3$ untuk bantalan rol. (Sularso, 2004).

Tabel 2.2 Faktor-faktor V, X, Y (Sularso, 2004)

Jenis bantalan		Beban putar pd cincin dalam	Beban putar pd cincin luar	Baris tunggal		Baris ganda				e	
				$F_d/VF_r > e$		$F_d/VF_r \leq e, F_d/VF_r > e$					
				V	X	Y	X	Y	X		Y
Bantalan bola alur dalam	$F_d/C_o = 0,014$	1	1,2	0,56	2,30	1	0	0,56	2,30	0,19	
	$= 0,028$				1,99				1,90	0,22	
	$= 0,058$				1,71				1,71	0,26	
	$= 0,084$				1,55				1,55	0,28	
	$= 0,11$				1,45				1,45	0,30	
	$= 0,17$				1,31				1,31	0,34	
	$= 0,28$				1,15				1,15	0,38	
	$= 0,42$				1,04				1,04	0,42	
Bantalan bola sudut	$\alpha = 20^\circ$	1	1,2	0,43	1,00	1	0,78	0,63	1,63	0,57	
	$= 25^\circ$				0,87				0,67	1,41	0,68
	$= 30^\circ$				0,76				0,63	1,24	0,80
	$= 35^\circ$				0,66				0,60	1,07	0,95
	$= 40^\circ$				0,57				0,57	0,93	1,14

Tabel 2.3 *Ball Bearing Pillow Type Units UCP (d 12-45)*
(FYH BALL BEARING UNITS, CATALOG NO.3300)

Shaft Diameter		Standard			Basic Load Ratings	
mm	inch	Unit No.	Housing No.	Bearing No.	kN	
d	C				Co	
12	$\frac{1}{2}$	UCP201 UCP201-8	P203	UC201 UC201-8	12.8	6.65
15	$\frac{5}{16}$	UCP202 UCP202-10		UC202 UC202-10		
17		UCP203		UC203		
20	$\frac{3}{4}$	UCP204-12 UCP204	P204	UC204-12 UC204	12.8	6.65
25	$\frac{7}{8}$ $\frac{15}{16}$	UCP205-14 UCP205-15 UCP205 UCP205-16	P205	UC205-14 UC205-15 UC205 UC205-16	14.0	7.85
	1	UCPX05 UCPX05-16	PX05	UCX05 UCX05-16	19.5	11.3
	1	UCP305 UCP305-16	P305	UC305 UC305-16	21.2	10.9
30	$1\frac{1}{8}$ $1\frac{3}{16}$ $1\frac{1}{4}$	UCP206-18 UCP206 UCP206-19 UCP206-20	P206	UC206-18 UC206 UC206-19 UC206-20	19.5	11.3
	$1\frac{3}{16}$ $1\frac{1}{4}$	UCPX06 UCPX06-19 UCPX06-20	PX06	UCX06 UCX06-19 UCX06-20	25.7	15.4
	-	UCP306	P306	UC306	26.7	15.0
35	$1\frac{1}{4}$ $1\frac{5}{16}$ $1\frac{3}{8}$	UCP207-20 UCP207-21 UCP207-22 UCP207	P207	UC207-20 UC207-21 UC207-22 UC207	25.7	15.4
	$1\frac{7}{16}$ $1\frac{3}{8}$	UCP207-23 UCPX07-22 UCPX07 UCPX07-23	PX07	UC207-23 UCX07-22 UCX07 UCX07-23	29.1	17.8
	$1\frac{7}{16}$	UCPX07-23		UCX07-23		
	-	UCP307	P307	UC307	33.4	19.3
40	$1\frac{1}{2}$ $1\frac{9}{16}$	UCP208-24 UCP208-25 UCP208	P208	UC208-24 UC208-25 UC208	29.1	17.8
	$1\frac{1}{2}$	UCPX08-24 UCPX08	PX08	UCX08-24 UCX08	34.1	21.3
	$1\frac{1}{2}$	UCP308-24 UCP308	P308	UC308-24 UC308	40.7	24.0
45	$1\frac{5}{8}$ $1\frac{11}{16}$ $1\frac{3}{4}$	UCP209-26 UCP209-27 UCP209-28 UCP209	P209	UC209-26 UC209-27 UC209-28 UC209	34.1	14.0
	$1\frac{3}{4}$	UCPX09-28 UCPX09	PX09	UCX09-28 UCX09	35.1	14.4

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN DINAMOMETER

3.1 Perancangan

3.1.1 Ketentuan Umum

Rancangan dapat diartikan sebagai realisasi bentuk fisik yang kreatif dari konsep-konsep teoritis. Perancangan teknik merupakan aplikasi dari ilmu pengetahuan, teknologi, dan penemuan-penemuan baru untuk membuat mesin-mesin yang dapat melakukan berbagai pekerjaan dengan ekonomis dan efisien.

Banyak kasus sangat sulit untuk menciptakan rancangan yang memenuhi semua spesifikasi teknis dan kriteria biaya serta ketahanan sesuai yang kita inginkan. Kita tidak mungkin dapat menciptakan suatu mesin yang murah dan tahan lama dengan mudah. Hal ini terjadi karena mesin yang memiliki umur yang panjang terbuat dari bahan yang berkualitas tinggi sudah pasti tidak murah. Berbagai persyaratan performa mesin harus tetap dipenuhi, namun titik temu antara unsur biaya dan ketahanan dapat diperoleh.

Secara umum perancangan tersebut pada prinsipnya mempunyai ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- a. Keandalan yang tinggi untuk mengatasi kerusakan dalam batas-batas normal, termasuk dari kesederhanaan suatu sistem, misalnya mudah dimengerti dan dioperasikan dalam keadaan normal maupun dalam keadaan darurat
- b. Keamanan ditujukan untuk keselamatan manusia dan lingkungan
- c. Kemudahan dalam pengoperasian, pemeriksaan, pengawasan, pemeliharaan dan perbaikan
- d. Hemat tempat dengan ukuran yang sesuai diharapkan, alat yang dibuat tidak terlalu besar
- e. Ketersediaan cadangan
- f. Ekonomis.

3.1.2 Altrnatif Pemilihan Dinamometer Arus Eddy

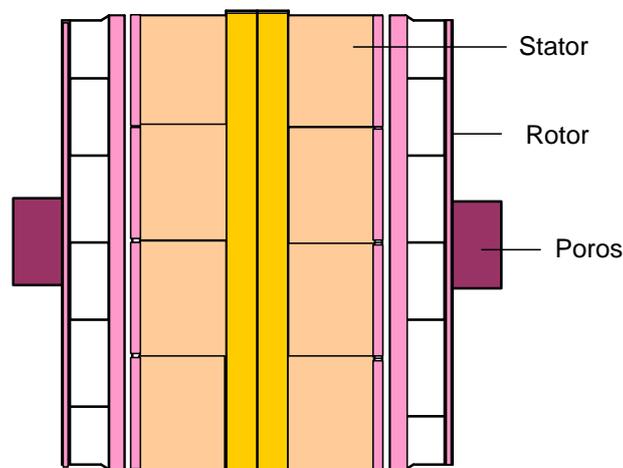
Peredam dinamometer arus Eddy adalah peredam yang paling umum digunakan pada dinamometer chasis modern. Peredam arus Eddy dapat

menghasilkan beban yang sangat cepat untuk penyelesaian aliran beban. Sebagian menggunakan pendingin udara, tapi ada pula yang dirancang menggunakan pendinginan air eksternal. Dinamometer arus Eddy ini membutuhkan inti konduktif listrik, batang atau disc bergerak melintasi medan magnet untuk menghasilkan resistansi terhadap gerakan. Besi merupakan bahan yang umum digunakan, namun tembaga, aluminium dan bahan konduktif lainnya dapat digunakan.

Beberapa jenis-jenis dinamometer dan alternatif yang ada, maka dapat dilakukan pemilihan untuk mendapatkan jenis dinamometer yang baik. Untuk memilih dan menentukan yang terbaik, penulis mempertimbangkan dari segi tempat, biaya, efisien, efektifitas dan kendala alat.

Dari beberapa alternatif dan berbagai pertimbangan dengan membandingkan keuntungan dan kerugian, maka pemilihan perancangan dinamometer yang akan dibuat adalah jenis dinamometer arus Eddy, sedangkan dinamometer arus Eddy ada dua jenis yaitu :

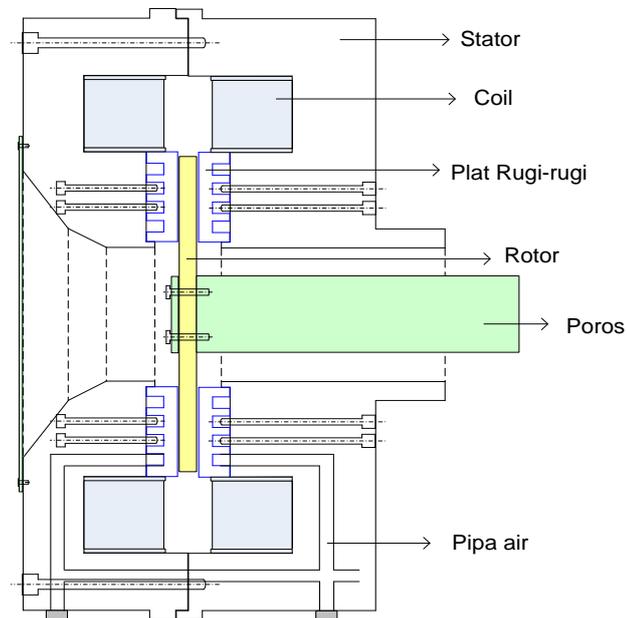
a. Dinamometer arus Eddy pendingin udara



Gambar 3.1 Dinamometer arus Eddy pendingin udara

Dinamometer pendingin udara dapat menghasilkan perubahan beban yang sangat cepat untuk penyelesaian aliran beban. Arus listrik mengalir ke-coil membentuk kutub-kutub dan menghasilkan medan magnet. Arus pusar timbul pada plat rugi-rugi kedua sisi rotor dan menghambat putaran yang berupa torsi pengereman. Pada rotor dilengkapi dengan sudu-sudu untuk pendinginan.

b. Dinamometer arus Eddy pendingin air



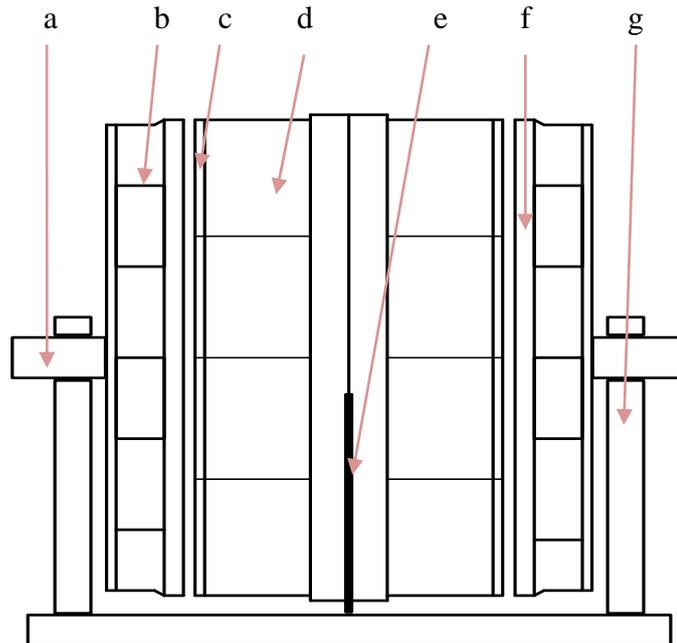
Gambar 3.2 Dinamometer arus Eddy pendingin air

Dinamometer ini terdiri dari suatu rotor yang digerakkan oleh suatu motor yang tenaganya akan diukur dan berputar dalam medan magnet. Kekuatan medan magnetnya dikontrol dengan merubah arus sepanjang susunan kumparan yang ditempatkan pada kedua sisi dari rotor. Rotor ini bertindak sebagai konduktor yang memotong medan magnet. Karena pemotongan medan magnet itu maka terjadi arus pusar dan arus ini diinduksikan dalam rotor sehingga rotor menjadi panas. Pendinginannya dengan air, sehingga bagian yang dilalui air bisa terjadi korosi.

Dari dua alternatif dinamometer arus Eddy di atas dengan pertimbangan dan membandingkan keuntungan, kerugian, dan kemudahan operasional, maka pemilihan perancangan dinamometer yang akan dibuat adalah jenis dinamometer arus Eddy dengan pendingin udara.

3.1.3 Perancangan Dinamometer

Perancangan dinamometer yang dibuat adalah jenis dinamometer arus Eddy pendingin udara. Bagian-bagian utama dari perancangan dinamometer seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Hasil Rancangan Dinamometer

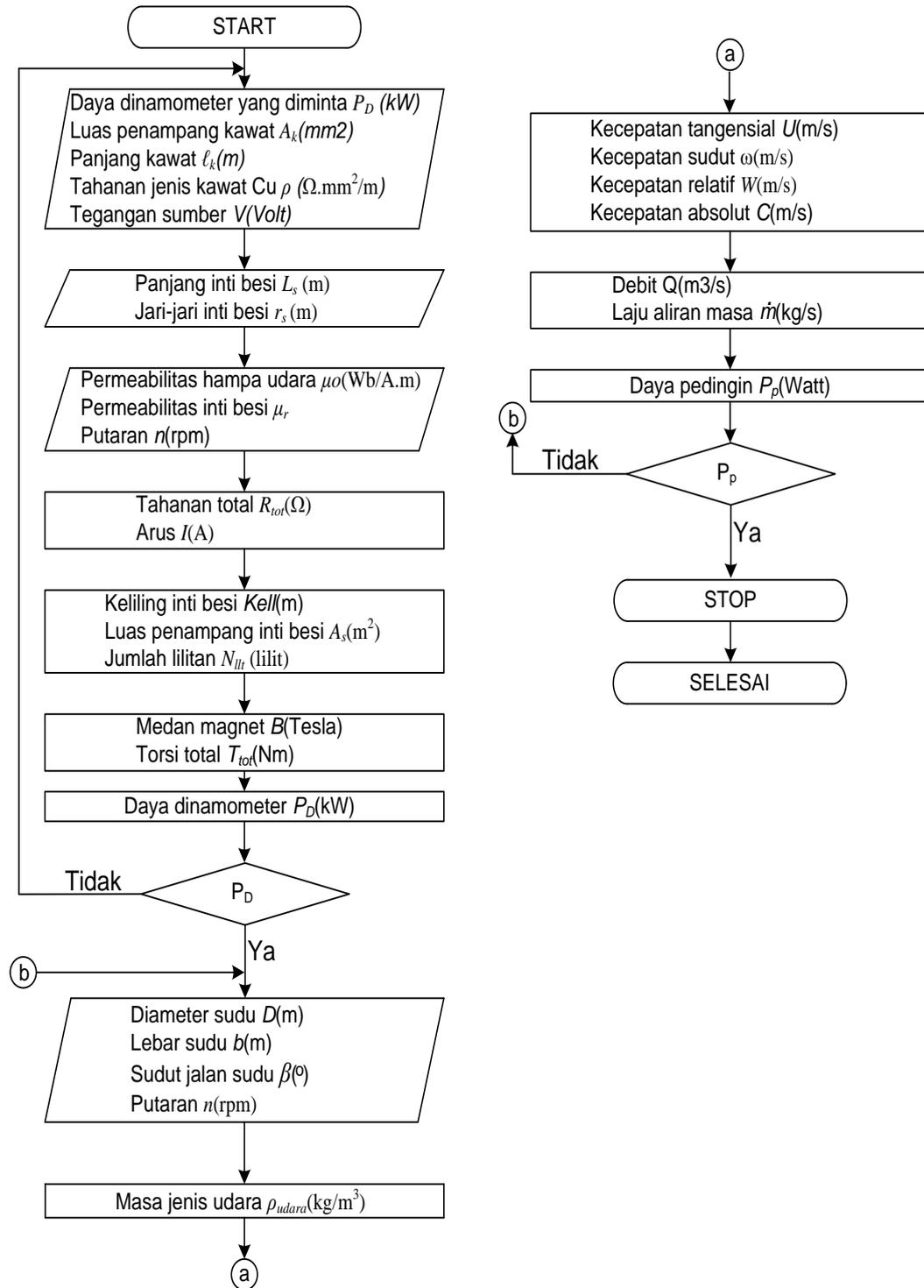
Keterangan gambar :

- | | |
|-----------------|--------------------|
| a. Poros | e. Timbangan beban |
| b. Sudu | f. Plat rugi-rugi |
| c. Sepatu kutub | g. Dudukan |
| d. Belitan | |

Cara kerja dinamometer ini adalah rotornya digerakkan oleh suatu mesin yang tenaganya akan diukur dan berputar dalam medan magnet. Rotor yang ditempatkan pada kedua sisi stator bertindak sebagai konduktor yang memotong medan magnet. Kekuatan medan magnetnya dikontrol dengan merubah arus sepanjang susunan kumparan yang ditempatkan pada stator. Karena pemotongan medan magnet itu maka terjadi arus pusar dan arus ini diinduksikan dalam plat rugi-rugi sehingga terjadi pengereman yang menyebabkan beban pada timbangan akan terukur.

3.1.4 Perhitungan Perancangan Dinamometer

Diagram aliran daya dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 3.4 Diagram alir daya dinamometer

a. Stator

Stator adalah bagian dari dinamometer yang diam. Bagian utama stator adalah inti besi yang diberi belitan dari kawat tembaga.

Kawat :

$$\text{Luas penampang kawat, } A_k = 0,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tahanan jenis kawat, } \rho = 0,0175 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Panjang kawat, } \ell_k = 170 \text{ m}$$

$$\text{Tahanan per coil, } R_c = 3,967 \text{ } \Omega$$

$$\text{Tahanan total, } R_t = 0,2479 \text{ } \Omega$$

$$V = 12 \text{ Volt}$$

$$I = 48,40336 \text{ A}$$

Inti besi, solenoid :

$$\text{Panjang inti besi, } L_s = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari inti besi, } r_s = 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Keliling inti besi, } K_{ell} = 0,157 \text{ m}$$

$$\text{Luas penampang inti besi, } A_s = 0,00196 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah lilitan, } N_{lt} = 1082 \text{ lilit}$$

Permeabilitas :

$$\text{Permeabilitas hampa udara, } \mu_0 = 12,57 \cdot 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$$

$$\text{Permeabilitas besi, } \mu_{r(\text{besi})} = 150$$

Medan magnet :

$$B = 3,0881 \text{ Tesla}$$

Torsi :

$$T = 317,64 \text{ Nm}$$

Daya :

$$n = 4000 \text{ rpm}$$

$$P = 133,057 \text{ kW}$$

Jadi dari hasil perhitungan di atas, daya yang direncanakan 130 kW bisa diterima.

b. Rotor

Rotor adalah bagian dari dinamometer yang bergerak atau berputar. Bagian utama dari rotor adalah sudu pendinginan yang dihubungkan ke plat rugi-rugi dan poros sebagai penumpu dinamometer.

Sudu :

Sudu yang terpasang di dinamometer sebagai pendinginan. Daya pendingin dinamometer dapat dihitung sebagai berikut:

Direncanakan :

Diameter dalam, $D_1 = 0,15$ m

Diameter luar, $D_2 = 0,28$ m

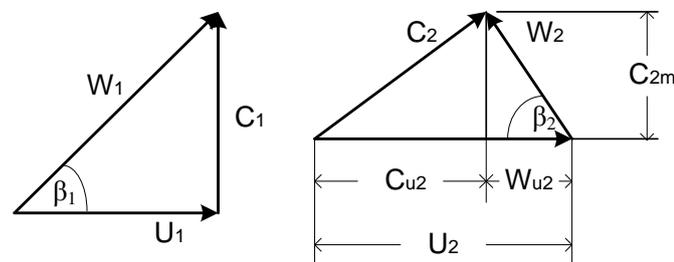
Sudut awal, $\beta_1 = 45^\circ$

Sudut keluar, $\beta_2 = 50^\circ$

Putaran, $n = 4000$ rpm

Lebar sudu, $b = 0,033$ m

Perhitungan dapat dicari dari segitiga kecepatan dibawah ini,



Gambar 3.5 Segitiga kecepatan

Kecepatan tangensial U :

$$U_1 = 31,4 \text{ m/s}$$

$$U_2 = 58,613 \text{ m/s}$$

Kecepatan sudut :

$$\omega = 418,67 \text{ m/s}$$

Kecepatan relatif :

$$W_1 = 44,41 \text{ m/s}$$

Kecepatan absolut :

$$C_1 = 31,4 \text{ m/s}$$

Debit :

$$Q = 0,48805 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kecepatan pada:

$$C_{2m} = 16,82 \text{ m/s}$$

$$W_2 = 21,96 \text{ m/s}$$

$$W_{u2} = 14,11 \text{ m/s}$$

$$C_{u2} = 44,5 \text{ m/s}$$

$$C_2 = 47,573 \text{ m/s}$$

Masa jenis udara, $\rho_{\text{udara}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$

Laju aliran masa :

$$\dot{m} = \rho_{\text{udara}} \cdot Q = 1,2 \cdot 0,48805 = 0,58566 \text{ kg/s}$$

Daya pendinginan yang dibutuhkan dengan $C_{u1} = 0$ adalah :

$$\begin{aligned} P &= \dot{m} (r_2 \cdot \omega \cdot C_{u2} - r_1 \cdot \omega \cdot C_{u1}) \\ &= 0,58566 (0,14 \cdot 418,67 \cdot 44,5 - 0) \\ &= 1527,521 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Poros :

Poros adalah untuk menopang bagian mesin yang diam, berayun atau berputar.

Daya rencana $P_D = 130 \text{ kW}$

$$n = 4000 \text{ rpm}$$

Momen rencana,

$$T = 31655 \text{ kg.mm}$$

Kekuatan tarik St- 60 dari tabel 2.1 diperoleh,

$$\sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2 = 61,162 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan geser,

$$\tau_a = 18 \% \times \sigma_B = 18 \% \times 61,162 \text{ kg/mm}^2 = 11,009 \text{ kg/mm}^2$$

Diameter poros dengan faktor koreksi, $K_t = 1,5$ dan $C_b = 1,2$

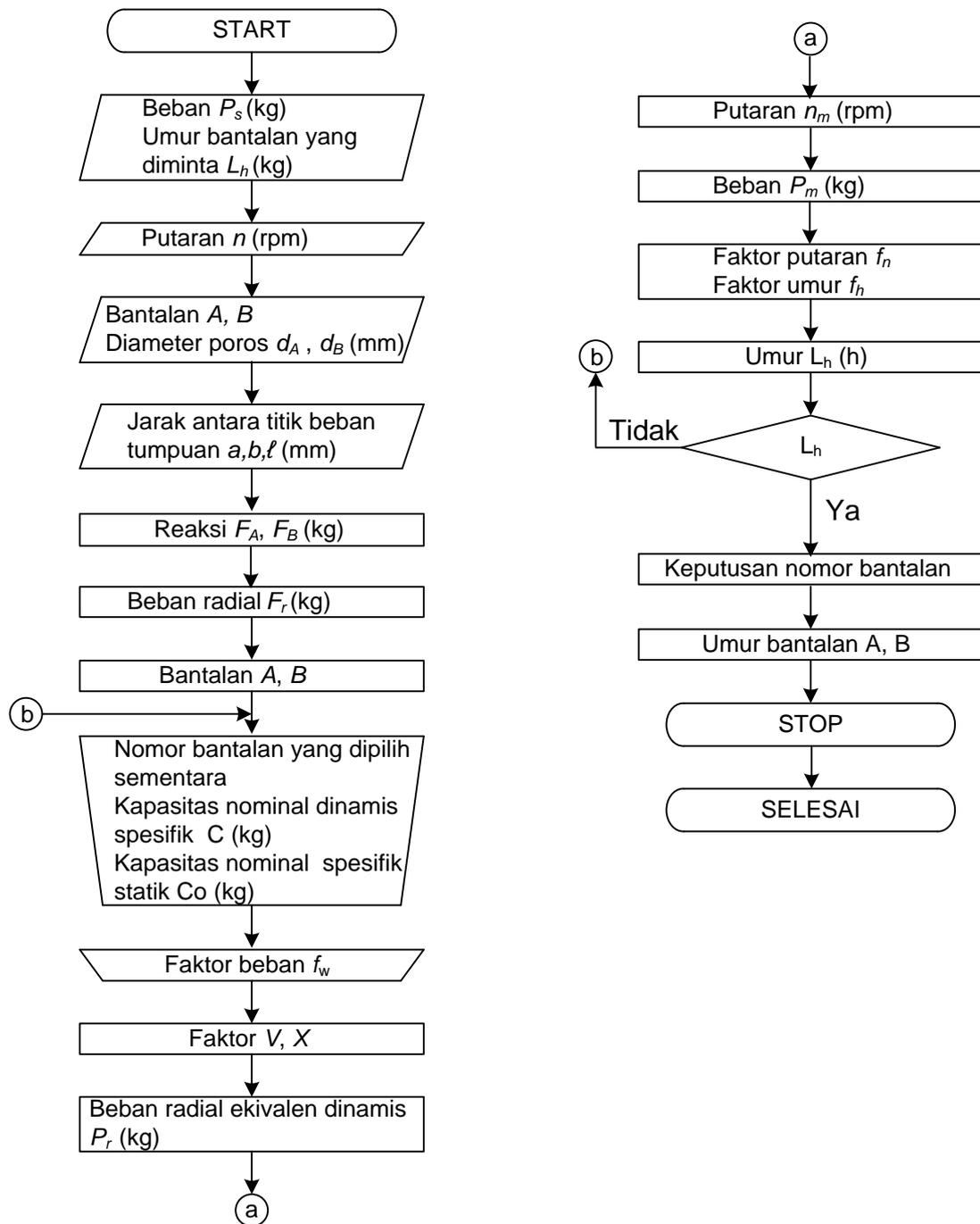
$$\begin{aligned}
 d_s &= \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t \cdot C_b \cdot T \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= \left[\frac{5,1}{11,009} 1,5 \cdot 1,2 \cdot 31655 \right]^{\frac{1}{3}} \\
 &= 29,774 \text{ mm.} \\
 &= 2,9774 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas karena pertimbangan beban dan getaran, maka diameter poros yang dibuat direncanakan 4 cm.

c. Bantalan

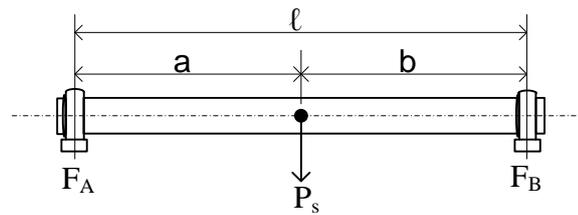
Bantalan adalah elemen mesin yang harus mampu menumpu poros berbeban. Bantalan harus cukup kokoh supaya poros yang berputar tetap berjalan dengan baik. Pemilihan bantalan yang tepat akan halus, aman dan berumur panjang.

Diagram alir untuk memilih bantalan



Gambar 3.6 Diagram alir pemilihan bantalan

Pemilihan bantalan :



Gambar 3.7 Distribusi beban bantalan

Beban, $P_s = 54 \text{ kg}$

Umur direncanakan, $L_h = 10000 \text{ h}$

Putaran, $n = 4000 \text{ rpm}$

Diameter poros, $d_A = d_B = 40 \text{ mm}$

Jarak tumpuan, $l = 297 \text{ mm}$; $a = b = 148,5 \text{ mm}$

Reaksi tumpuan, $F_A = F_B = P_s \cdot \frac{a}{l} = 54 \cdot \frac{148,5}{297} = 27 \text{ kg}$

$\Sigma F_r = 27 \text{ kg}$

Bantalan A dan B dimisalkan untuk UC208 seperti pada tabel 2.3 diperoleh,

Beban dinamis, $C = 29,1 \text{ kN} = 2966,361 \text{ kg}$

Dari tabel 2.2 diperoleh $V = 1$ dan $X = 0,56$

Beban radial ekivalen dinamis,

$$P_r = X \cdot V \cdot F_r = 0,56 \cdot 1 \cdot 27 = 15,12 \text{ kg}$$

diambil proporsi frekuensi $q = 0,47$

Beban rata-rata ,

$$P_m = \sqrt[p]{a \cdot P^p} = \sqrt[3]{4000 \cdot 0,47 \cdot 15,12^3} = 186,6112 \text{ kg}$$

Faktor putaran,

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{i/3} = \left(\frac{33,3}{4000} \right)^{1/3} = 0,20267$$

Faktor umur,

$$f_h = f_n \cdot \frac{C}{P_m} = 0,20267 \cdot \frac{2966,361}{186,6112} = 3,22167$$

Umur bantalan,

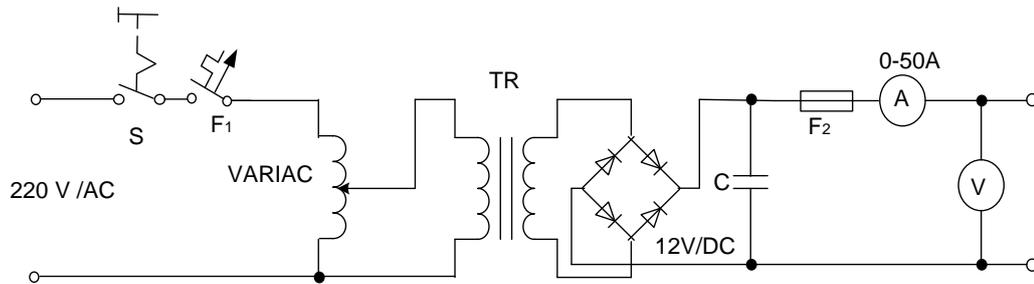
$$L_h = 500 \cdot f_n^3 = 500 \cdot 3,22167^3 = 16719 \text{ h}$$

Jadi, $16719 \text{ h} > 10000 \text{ h}$, dapat diterima.

Sehingga ditetapkan nomer bantalan A dan B adalah UC208 dengan umur 16719 h.

d. *Power supply*

Dari perhitungan perancangan dinamometer tersebut, tegangan sumber yang dibutuhkan adalah arus searah (DC) sebesar 12 V dengan kemampuan arus 48 A, maka bisa dibuat *power supply* yang dirangkai seperti pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Rangkaian *power supply*

Keterangan :

- a. Sumber tegangan arus bolak balik 220 V
- b. S adalah saklar penghubung
- c. F₁ adalah MCB
- d. Trafo variabel atau variac
- e. TR adalah trfo tegangan 50 A dengan tegangan keluaran 12 V/AC
- f. Penyearah dengan menggunakan dioda dengan keluaran tegangan 12 V/DC
- g. C adalah kapasitor
- h. F₂ adalah sekering DC
- i. A adalah alat ukur ampere meter 0-50 A/ DC
- j. V adalah alat ukur volt meter 0-15 V/DC.

3.1.5 Hasil Perancangan Dinamometer

Dari perhitungan dinamometer, hasil perancangannya sebagai berikut :

Kawat :

Luas penampang kawat, $A_k = 1,5 \text{ mm}^2$

Panjang kawat, $\ell_k = 170 \text{ m}$

Tahanan jenis kawat, $\rho = 0,0175 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Tegangan sumber, $V = 12$ Volt

Inti besi :

Panjang inti besi, $L_s = 0,1$ m

Jari-jari inti besi, $r_s = 0,025$ m

Luas penampang inti besi, $A_s = 0,00196$ m²

Jumlah lilitan, $N_{lt} = 1082$ lilit

Kemampuan arus dinamometer, $I = 48$ A

Torsi, $T = 317$ Nm

Daya dinamometer, $P_D = 133$ kW

Sudu :

Diameter sudu, $D_1 = 0,15$ m; $D_2 = 0,28$ m

Lebar sudu, $b = 0,033$ m

Sudut jalan sudu, $\beta_1 = 45^\circ$; $\beta_2 = 50^\circ$

Daya pendingin dinamometer, $P_p = 1527$ Watt

Diameter poros $d_s = 4$ cm

Bantalan *pillow blok* UC208

3.2 Pembuatan

Pembuatan merupakan proses pekerjaan dari hasil perancangan. Pembuatan dinamometer terdiri dari dua bagian yaitu stator dan rotor. Stator terdiri dari inti besi, belitan dan sepatu kutub yang dipasang pada rumah stator, sedangkan rotor terdiri dari sudu yang dilengkapi dengan plat rugi-rugi dan dihubungkan ke poros.

3.2.1 Pembuatan Stator

Stator adalah bagian dari dinamometer yang diam. Stator pada dinamometer arus Eddy terdiri dari solenoida dan rumah stator. Solenoida meliputi inti besi, belitan dan sepatu kutub.

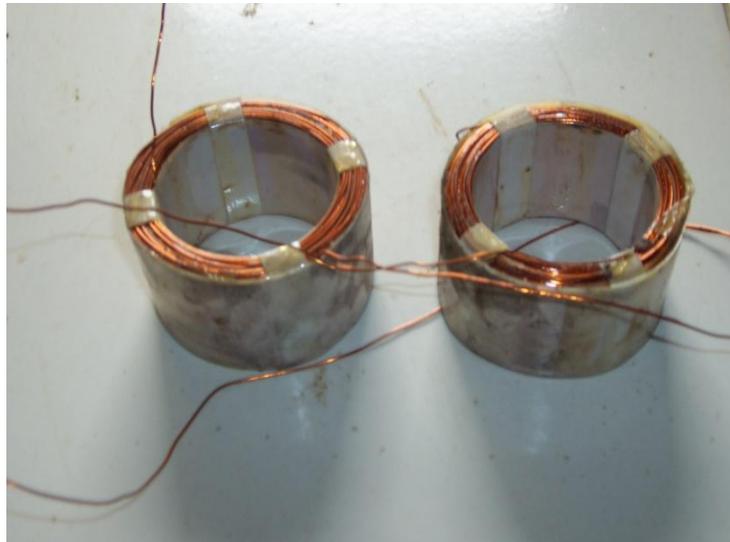
a. Inti besi

Inti besi pada dinamometer dibuat dari bahan baja St 40 sebanyak 8 buah dengan diameter 5 cm dan panjang 10 cm seperti terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Inti besi

- b. Belitan
Belitan dari kawat nikelin dengan diameter $0,75 \text{ mm}^2$ yang dililit diberi lapisan prespan seperti terlihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Belitan

- c. Sepatu kutub
Sepatu kutub terbuat dari bahan St-35 sebanyak 16 buah seperti terlihat pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Sepatu Kutub

d. Rumah stator.

Rumah stator terbuat dari bahan alumunium yang dicor, kemudian dibubut dan diberi 8 lubang untuk tempat solenoida seperti gambar berikut.



Gambar 3.12 Rumah stator yang terpasang solenoida



Gambar 2.13 Stator yang terpasang poros



Gambar 3.14 Perakitan stator dengan poros

Perakitan stator dengan poros dihubungkan dengan *bearing* SKF 6009-2R S1 yang terpasang dua buah bagian depan dan belakang pada *housing* stator aluminium.

3.2.2 Pembuatan Rotor

Rotor adalah bagian dari dinamometer yang berputar. Rotor pada dinamometer pendingin udara ada 2 buah yang dipasang di depan dan belakang stator. Rotor terdiri dari plat rugi-rugi yang tebalnya sekitar 0,8 mm St-60 yang berdiameter 29 cm, sudu-sudu sebagai pendingin dari St-35 dan plat besi St-35 bagian luar dengan diameter 28 cm.

a. Sudu

Sudu terbuat dari plat St-37 dipasang diantara plat dan dihubungkan pada *housing* poros seperti terlihat pada gambar 3.15



Gambar 3.15 Sudu

b. Poros

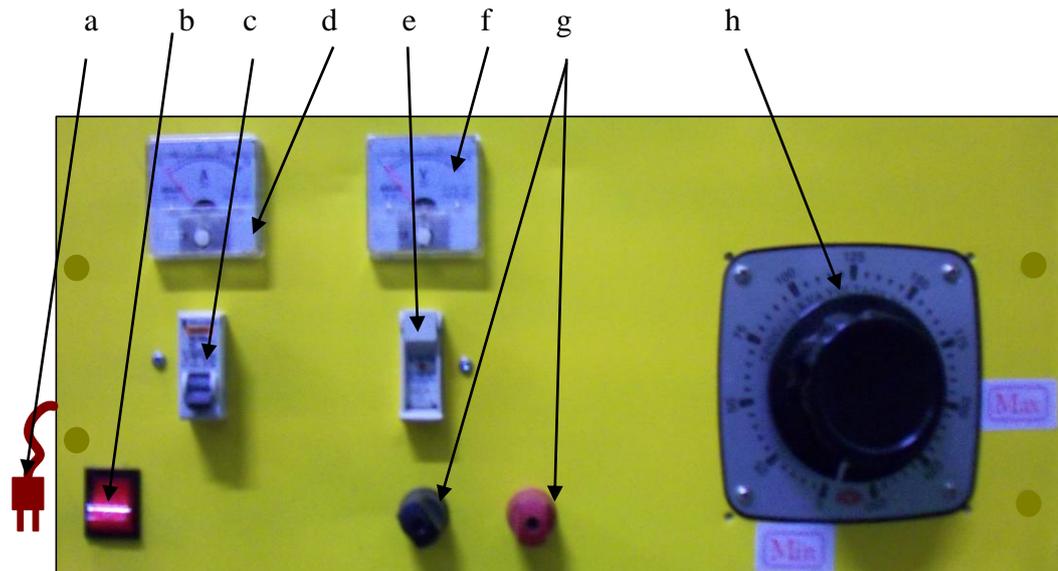
Pembuatan poros dari bahan St-60 dikerjakan dengan mesin bubut, panjang poros 453 mm seperti terlihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 Poros

3.2.3 Pembuatan *Power Supply*

Pemberian sumber tegangan pada dinamometer diatur oleh *power supply* sesuai kebutuhan. *Power supply* ini mempunyai tegangan maksimum DC 12 Volt, 50 A yang dirangkai pada Gambar 3.8 ditempatkan dalam box panel seperti terlihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 *Power supply*

Keterangan :

- a. Tusuk kontak sumber tegangan
- b. Saklar sumber
- c. MCB
- d. Ampere meter DC
- e. Sekering DC
- f. Voltmeter DC
- g. Terminal keluaran ke beban
- h. Variabel tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

Arons, A.(1997). *Teaching Introductory Physics*. NY: John Wiley & Sons New York.

Dietzel Fritz, Sriyono dakso, (1988), *Turbin, Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta

Frankel, M., Physics Simulations, [http://phet.colorado.edu/simulation/index.php?cat=Electricity Magnets and Circuit](http://phet.colorado.edu/simulation/index.php?cat=Electricity%20Magnets%20and%20Circuit) (diakses 2 juli 2011).

G. Wacau, (1989), *Drsection for use by the dynamometric*, Berlin “*Inside the Eddy-Current/ Powder Dynamometers.*”

http://www.magtrol.com/motortesting/wbpb_dynamometer_inside.htm

(diakses 2 juli 2011)

Gillespie, Thomas D., (1994), *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale.

James Kennicutt Discovering and Analyzing Magnetic Fields with Solenoids in Introductory Physics Dept. of Physics, SUNY-Buffalo State College, 1300 Elmwood Ave, Buffalo, NY 14222 jrk9@buffalo.edu, (diakses 12 Agustus 2011)

Load Charts- Air-Cooled Eddy-Current Absorber

<http://www.land-and-sea.com/eddy-current-dynamometer/eddy-current-dynamometer-absorber-load-charts1.htm>. (diakses 18 Mei 2012)

Magtrol motor testing products description, “*Engine Dynamometers.*”

http://www.magtrol.com/motortesting/ed_dynamometers.htm. (diakses 12

Agustus 2011)

Magtrol motor testing products description, “*Eddy-Current Dynamometers.*”

http://www.magtrol.com/motortesting/wb_dynamometers.htm. (diakses 12

Agustus 2011)

Niemen G, Budiman Anton, Priambodo Bambang, (1994), *Elemen Mesin Jilid 1*, Erlangga, Jakarta

Sawicki, C.A. (1997). Magnetic field demonstration/mystery. *The Physics Teacher*, 35(4), 227-229

Suga Kiyokatsu, Sularso, (2004), *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*, Pradnya Paramita, Jakarta

Tata Surdia, (1985), *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta