

Analisis dan Perancangan Rotor Pendingin Dynamometer Arus Eddy Untuk Pengujian Kinerja Kendaraan Bermotor Kapasitas 250 KW

Budhi Prasetyo¹⁾ & Nazaruddin Sinaga²⁾

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang, Kotak Pos 6199/SMS Semarang 50275
Telp. 7473417, 7499585 (Hunting) Fax. (024) 7472396

Abstrak

Dynamometer, adalah suatu mesin yang digunakan untuk mengukur torsi (torque) dan kecepatan putaran (rpm) dari tenaga yang diproduksi oleh suatu mesin, motor atau penggerak berputar lain. Dynamometer dapat juga digunakan untuk menentukan tenaga dan torsi yang diperlukan untuk mengoperasikan suatu mesin. Dalam hal ini, maka diperlukan dynamometer. Dynamometer yang dirancang untuk dikemudikan disebut dynamometer absorpsi/penyerap. Dynamometer yang dapat digunakan, baik penggerak maupun penyerap tenaga disebut dynamometer aktif atau universal.

Sebagai tambahan untuk digunakan dalam menentukan torsi atau karakteristik tenaga dari mesin dalam test/Machine Under Test (MUT), Dynamometer juga mempunyai peran lain. Dalam siklus standar uji emisi, seperti yang digambarkan oleh US Environmental Protection Agency (US EPA), dynamometer digunakan untuk membuat simulasi jalan baik untuk mesin (dengan menggunakan dynamometer mesin) atau kendaraan secara penuh (dengan menggunakan dynamometer chasis). Sebenarnya, diluar pengukuran torsi dan power yang sederhana, dynamometer dapat digunakan sebagai bagian dari pengujian untuk berbagai aktifitas pengembangan mesin seperti kalibrasi pengontrol manajemen mesin, pengembangan sistem pembakaran dsb.

Dynamometer arus eddy yang paling umum digunakan pada dynamometer chasis modern. Dynamometer ini dapat menghasilkan perubahan beban yang cepat untuk penyelesaian aliran beban yang diinginkan.

Perancangan dynamometer arus eddy dengan pendinginan udara kipas ini dititik beratkan pada rancangan berbagai bentuk variasi sudu (blade) untuk menentukan optimalisasi pendinginan yang optimum dengan dibantu oleh software FLUENT.

Kata kunci : *Dynamometer arus eddy, Software FLUENT*

1. Pendahuluan

Dynamometer adalah perangkat pengukuran daya mekanis yang memainkan peranan penting dalam penelitian dan pengembangan khususnya mesin pembakaran internal. Untuk kebutuhan modifikasi dan bahan bakar alternative dynamometer digunakan untuk mensimulasikan beban mesin selama “tune-up”. Secara umum dynamometer bekerja dengan penyerapan energi dari mesin, secara bersamaan ia mampu untuk mengukur baik torsi dan kecepatan putaran. Dari penyerapan energinya Dynamometer dapat diklasifikasikan yaitu Hydro-kinematika, Hydrostatik dan Listrik. Setiap system memiliki karakteristik yang berbeda-beda seperti ditunjukkan pada tabel 1. Setiap jenis dari dynamometer memiliki kelebihan dan kekurangannya di masing-masing aplikasi.

Hydro-dinamika atau dynamometer hidrolis menggunakan viskositas fluida sebagai media penyerap energinya. Dynamometer jenis ini beroperasi dengan 2 komponen utama yaitu stator dan rotor yang berada di dalam air. Rotor penggerak fluida dan setup gaya sentrifugal. Efeknya adalah untuk transfer momentum dari rotor ke stator dan menghasilkan torsi dari reaksi putaran poros. Gaya geser turbulen dari cairan (Air) hilang dalam bentuk panas dalam air. Dynamometer jenis ini memiliki keterbatasan menyerap torsi pada kecepatan putar rendah dan pengaturan nonlinier, tetapi bisa menahan kelebihan putaran. Sementara biaya pembuatannya rendah disbanding dynamometer lain.

Dynamometer dengan fluida kerja yang lain adalah system Hydrostatik, system ini mempunyai keuntungan dapat menyerap torsi pada kecepatan stagnasi dan inersia

yang rendah. Namun, hidrostatis dynamometer tidak banyak digunakan karena operasi dan biaya pemeliharaan lebih tinggi dari sistem lain.

Untuk sistem listrik, dynamometer bisa diklasifikasikan ke dalam 3 jenis utama yaitu motor DC, A.C. Motor dan rem eddy current. Pertama, dynamometer motor DC ini dilengkapi dengan arus searah dan penyearah daya yang mempunyai kelebihan torsi pada kecepatan rendah tetapi tidak direkomendasikan beroperasi pada kecepatan tinggi akibat terhubung dengan sikat di rotor. Kedua, sistem A.C. dilengkapi dengan motor A.C. dan inverter yang karakteristiknya

seperti sistem motor D.C. tetapi dapat beroperasi pada kecepatan tinggi karena tidak adanya sikat. Kedua jenis dynamometer tersebut mempunyai keuntungan yang mudah dioperasikan secara otomatis, mampu menyerap energi dari mesin yang diuji. Namun peralatan kontrol daya listriknya relative besar dan mahal. Ketiga, yang paling banyak digunakan adalah , sistem rem arus eddy beroperasi dengan induksi magnet membuat torsi perlawanan dan menyerap energi menjadi panas. Sistem ini memiliki kelebihan yaitu konsumsi daya yang rendah dan bisa dikontrol secara otomatis.

Tabel 1. Karakteristik beberapa dynamometer

Character/Type	Eddy Current	Electric	Hydro-kinematics	Hydrostatic
Speed limit	High	DC: Medium AC: High	None	High depended on pump
Applicable Torque Range (Speed)	Low - High	DC: Low – Medium AC: Low - High	Medium - High	Very Low - Medium
Polar Inertia	Moderate	High	Low	Very Low
Size (at same capacity)	Moderate	Large	Moderate	Small
Transfer Function	Linear	Linear	Non-linear	Linear
Control	Electrical Current	Electrical Frequency/Current	Mechanical/ Electrical	Mechanical/ Electrical
Regenerative	No	Yes	No	No (option)
Drive	No	Yes	No	Yes (option)
Maintenance	Low	Low	Moderate	High

Prinsip kerja dynamometer arus eddy didasarkan pada timbulnya arus eddy dalam piringan logam yang berputar yang berimpit dengan medan elektromagnet, yang menghasilkan sebuah kekuatan yang berlawanan dengan putaran piringan. Jika elektromagnet tidak ada energi, putaran piringannya bebas bersama dengan putaran mesin yang dihubungkan dengan poros. Ketika elektromagnetnya diberi energi listrik, putaran piringan akan ditahan dan energi yang diserap muncul sebagai panas pada piringan. Jika arus listrik elektromagnet dibuat bervariasi oleh rheostat, maka torsi

pengereman juga bervariasi langsung secara proporsional dengan nilai arus. Itu adalah aplikasi rem kendaraan arus eddy pertama yang ditemukan oleh seorang Prancis bernama Sarazin Raoul. Pengembangan penemuan ini dimulai ketika perusahaan Perancis Telma, yang terkait dengan Raoul Sarazin, mengembangkan dan memasarkan beberapa generasi rem listrik berdasarkan pada prinsip-prinsip fungsi yang dijelaskan di atas (Reverdin, 1974).

2. Landasan Teori Stabilitas Termal

Stabilitas termal dari rem elektromagnetik dicapai dengan cara

konveksi dan radiasi dari energi panas pada suhu tinggi. Bagian utama dari energi panas yang dibuang ke udara adalah melalui sudu kipas (*blade*) dari piringan panas. Nilai energi yang disebarkan oleh sudu kipas (*blade*) dapat dihitung oleh rumus berikut:

$$Q = M C_p \Delta\theta$$

Dimana : M = massa udara bebas
 C_p = nilai kalor udara
 $\Delta\theta$ = Perbedaan suhu antara udara masuk dan udara meninggalkan kipas.

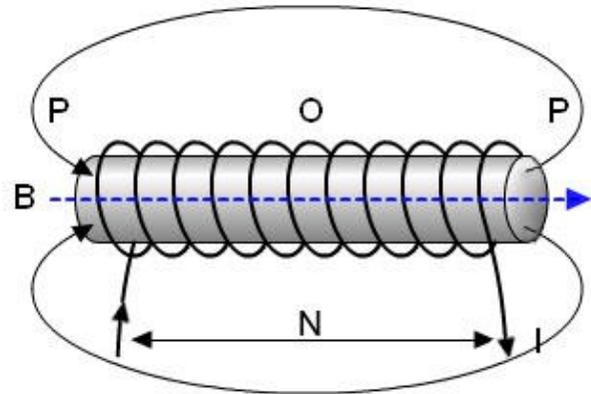
Dynamometer arus eddy berpendingin udara memiliki efisiensi pembuangan panas yang sangat baik karena suhu tinggi permukaan piringan yang sedang didinginkan dan juga karena aliran udara melalui kipas sentrifugal sangat cepat. Oleh karena itu, suhu curie bahan piringan tidak pernah bisa tercapai (Reverdin 1974).

Arus Pusing (Eddy Current)

Definisi arus pusing atau pengertian arus eddy adalah arus induksi yang timbul akibat konduktor yang bergerak dalam medan magnet. Arus ini juga disebut arus Fauccault. Arus eddy dapat ditunjukkan dengan percobaan ayunan Waltenhofen. Jika keeping konduktor pejal diayunkan dalam medan magnet, gerakannya akan terhambat karena pada saat melewati medan magnet terjadi perubahan fluks magnet. Akibatnya, electron bebas pada konduktor itu bergerak mengalami gaya Lorentz. Ada gerakan electron, berarti ada arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arus electron berupa lingkaran. Dalam tungku magnetic, arus eddy ini menguntungkan karena menimbulkan panas. Sebaliknya dalam transformator dan dynamometer arus pusing, justru merugikan, karena adanya panas berarti terjadi kebocoran energy. Untuk memperkecil kerugian ini, inti besi dari transformator dibuat lempengan berlapis isolasi sedangkan pada dynamometer arus pusing diberikan sistem pendingin dari luar atau pendingin dari dalam mengikuti putarannya. Oleh karenanya, pada ayunan Waltenhofen, jika keping logam dibuat seperti sisir, ayunannya akan lebih lama.

Medan Magnet pada Solenoida dan Inti Besi

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



Gambar 1. Kumparan pada sebuah Solenoida dan inti besi

Besarnya medan magnet disumbu pusat (titik O) Solenoida dapat dihitung

$$B = \frac{\mu NI}{l} = \mu K \quad \text{and} \quad \frac{NI}{l} = K$$

Dimana :

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

μ_0 = permeabilitas ruang hampa = $4\pi \cdot 10^{-7}$ Wb/amp. M

μ_r = permeabilitas relative bahan besi

B = medan magnet pada pusat solenoida dalam tesla (T)

I = kuat arus listrik dalam ampere (A)

N = jumlah lilitan dalam solenoid

L = panjang solenoida dalam meter (m)

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

$$B = \frac{\mu NI}{2l} = \frac{1}{2}\mu K$$

Dimana :

B = 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)

Tegangan (V) = 12 Volt
 Arus/coil (I) = 14 Ampere
 Tahanan kabel (R) = 0,85 Ohm

Torsi :

$$\tau = B \cdot I \cdot A \cdot N$$

Dimana :

τ = Torsi (Nm)
 B = Medan magnet (T)
 I = Arus listrik (A)
 A = Luas penampang (m²)
 N = Jumlah lilitan

Daya :

$P = \tau N / 5949$
 Dimana :
 P = Daya (Watt)
 τ = Torsi (Nm)
 N = Kecepatan putar (rpm)

3. Metoda Penelitian

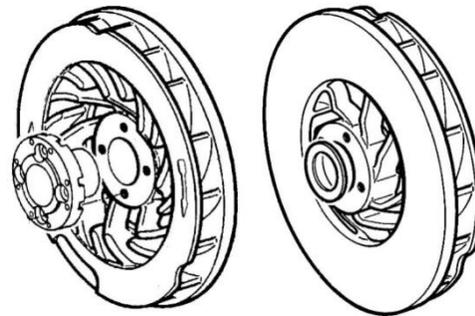
Perancangan Dynamometer arus eddy ini meliputi perancangan lilitan solenoid stator, pada beberapa perhitungan hasilnya diverifikasi malalui implementasi di Laboratorium, diantaranya untuk menetapkan jumlah dan luas penampang kawat lilitan. Pada umumnya merancang sebuah dynamometer arus eddy dimulai dengan menentukan spesifikasi yang dikehendaki yaitu daya keluaran, torsi, putaran, tegangan dan arus. Atas dasar parameter-parameter tersebut, perancang bisa menentukan dengan bebas berapa dimensi stator dan rotor pendingin yang diperlukan.

Namun pada perancangan ini, penulis justru merancangnya dari benda yang sudah ada baik dimensi maupun spesifikasinya, menentukan dimensi yang tidak diketahui sehingga bisa diperoleh parameter-parameter yang di hitung dan membandingkan dengan spesifikasi yang sudah ada dan terakhir menentukan parameter-parameter yang diharapkan sebagai spesifikasi yang optimal.

a. Mengambil Parameter dari data dynamometer yang sudah ada.

Data yang diketahui yaitu :
 Torsi (τ) = 636 Nm
 Putaran (n) = 4000 rpm

b. Menentukan dimensi yang tidakdiketahui.



Gambar. 2 Bagian Rotor Pendingin Dynamometer Arus Eddy

Nilai ini tidak ada dimensinya, makanya di tentukan yaitu :

Luas penampang kabel (A) = 0,75 mm²,
 untuk tegangan 12 Volt
 Panjang solenoid (L) = 0,1 m
 Jari-jari solenoid (r) = 0,025 m

c. Parameter tetapan.

Harga-harga tetapan dalam rancangan ini adalah :

ρ (tahanan jenis kabel tembaga) = 0,0175 Ohm mm²/m
 μ_0 (permeabilitas udara) = $4\pi \times 10^{-7}$ T m/A
 μ_r (permeabilitas relative inti besi) = 150-200

d. Menentukan Parameter yang dihitung.

Dari ketiga parameter-parameter di atas dapat diketahui harga-harga semua parameter berdasarkan rumus yang diketahui yaitu :

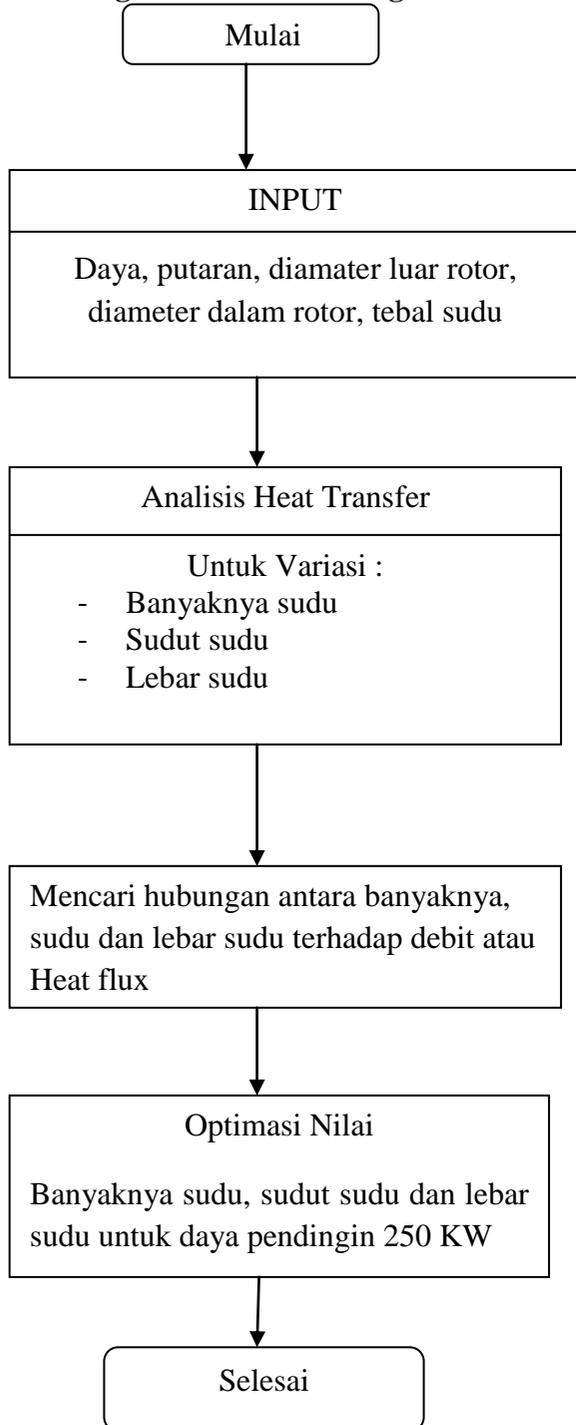
Untuk system Tegangan 12 Volt.
 Panjang kabel lilitan (ℓ) = 170 m
 Keliling solenoid = 0,157 m
 Jumlah lilitan (N) = 1041 lilit
 Luas solenoid (A) = 0,001963 m²
 Medan magnet (B) = 5,9 Tesla

Dari parameter yang didapatkan tersebut diperoleh hasil yang optimal yaitu :

Daya $P = 265 \text{ KW}$
 Torsi $\tau = 633 \text{ Nm}$
 Tegangan $V = 12 \text{ Volt dc}$
 Arus lilitan $I = 12 \text{ A}$

Dari ukuran dimensi rotor yang sudah ada seperti gambar dibawah ini :
 Dapat dibuat diagram alir perancangan sbb:

e. Diagram Alir Perancangan.



4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan di dapatkan seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Ukuran Lilitan Kawat

Ukuran Kabel Kawat						Teg.
R coil (Ohm)	R sirkuit (Ohm)	Penampang A (mm ²)	Hamb. Jenis ρ (Rho)	Panjang ℓ (m)	Diameter D (m)	(V)
3,9667	1,9833	0,75	0,0175	170	0,00098	12

Tabel 3. Nilai yang di tentukan

Torsi Total	Torsi per- coil	Putaran	Daya	Permeabilitas Hampa	Permeab. Inti Magnet
τ total (Nm)	τ (Nm)	rpm	P (KW)	μ_0 (hampa)	μ_r (Besi)
600	75	4000	251,3	1,257E-06	150

Tabel 4 Nilai parameter Solenoid

Lilitan Total	Arus Lilitan	Panjang Solenoid	Jari2 Solenoid	Keliling Solenoid	Jari2 Kwadrat	Luas Solenoid
N (lilit)	I (A)/coil	L (m)	r (m)	Kll (m)	r^*r	A (m ²)
1041	6,05	0,1	0,026	0,163	7E-04	0,002

Tabel 5 Hasil akhir medan magnet hitungan dari depan dan belakang.

Medan Magnet Di hitung dari awal	Medan Magnet Di hitung dari belakang
B (Tesla)	B (Tesla)
5,61	5,94

Dari daya perhitungan tersebut, hasilnya adalah 250 KW dan sebesar inilah disipasi panas dari rotor yang harus dihilangkan dengan rancangan parameter yang berbeda-beda untuk menentukan pembuangan panas yang paling optimal.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari penelitian yang akan dilaksanakan dapat disimpulkan sbb:

1. Penelitian ini dipilih dynamometer arus eddy berpendingin udara, karena system pendinginannya mengikuti putarannya sendiri.
2. Penelitian ini analisisnya digunakan software Fluent, karena lebih akurat hasilnya.
3. Dengan mengubah-ubah nilai parameternya akan dapat ditentukan pendinginan yang optimal.
4. Untuk kesempurnaan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, mohon saran-saran dari pembaca.

- William D. Callister, Jr,(2007) *Material Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc, United States of America,.
- Pintossi, F. (2003) *Investigation into the heat transfer and pressure losses in a high speed dynamometer*. Masters Thesis, Imperial College London,

6. Daftar Pustaka

- Montien Kaenson and Sataporn Klylung, *A 150-kW Low Cost Engine Hydrostatic Dynamometer: Design and Feasibility Study* Raksit THITIPATANAPONG Embedded System Tech. Res. Lab., National Electronic & Computer Technology Center, Thailand. Automotive Engineering Department, Faculty of Engineering, Sripatum University, Thailand.
- 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>
- Arons, A.(1997). *Teaching Introductory Physics*. New York, NY: John Wiley & Sons Frankel, M. (2009, July 2). *Physics Simulations*, Retrieved from:
<http://phet.colorado.edu/simulations/index.php?cat=Electricity Magnets and Circuits>
- Sawicki, C.A. (1997). Magnetic field demonstration/mystery. *The Physics Teacher*, 35(4), 227-229.
- Tata Surdia, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1985.