

## PERANCANGAN DAN PEMBUATAN DINAMOMETER KECIL DENGAN MENGGUNAKAN REM ARUS EDDY

Sangriyadi Setio<sup>1</sup> dan Antonius Irwan<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Mesin, FTMD, ITB  
Jalan Ganesha No. 10, Bandung 40132, Indonesia  
<sup>1</sup>sas\_setio@yahoo.com, <sup>2</sup>antonius\_irwan@rocketmail.com

### Abstrak

Dinamometer adalah alat penting yang digunakan dalam pengujian prestasi motor untuk menghitung besar tenaga yang dihasilkan oleh suatu motor dengan mengukur besar torsi dan kecepatan putar dari motor tersebut. Sayangnya pada saat ini di Indonesia sangat sulit diperoleh dinamometer dengan ukuran kecil dengan harga yang cukup terjangkau oleh masyarakat kecil. Dinamometer kecil dipergunakan untuk mengukur prestasi motor-motor kecil baik motor listrik maupun motor bakar dengan kapasitas di bawah 10 HP yang banyak dipergunakan oleh petani dan nelayan sebagai motor penggerak alat-alat pertanian dan perikanan.

Peneliti merancang dan membuat dinamometer kecil dengan menggunakan rem arus eddy dengan daya pengereman 10 HP dan kecepatan putar minimum 1000 rpm. Arus eddy merupakan arus berputar yang timbul akibat induksi logam konduktif serta pergerakan yang terjadi dalam medan magnet. Arus eddy yang timbul pada logam konduktif berbentuk piringan ditimbulkan oleh pergerakan dalam suatu medan magnet. Arus tersebut menahan pergerakan dari piringan konduktif sehingga memberikan torsi pengereman.

Penggunaan dinamometer kecil arus eddy untuk pengujian prestasi motor-motor kecil dengan kapasitas motor di bawah 10 HP yang dipergunakan untuk keperluan mobil hemat energi Tim Cikal ITB memberikan hasil yang sangat memuaskan.

**Kata kunci:** Dinamometer kecil, Rem arus eddy

### Pendahuluan

Usaha Kecil dan Menengah (UKM) merupakan salah satu pilar penting perekonomian Indonesia. UKM merupakan salah satu sektor industri yang paling sedikit terkena dampak krisis ekonomi baik global maupun lokal. Dengan demikian, UKM harus diperhitungkan dan ditingkatkan kualitasnya agar bisa bersaing dengan usaha-usaha sejenis dari luar negeri.

Kegiatan UKM di Indonesia sebagian besar bergerak di sektor pertanian, perikanan, dan jasa industri lainnya. Dalam sektor tersebut UKM membutuhkan motor-motor kecil baik motor listrik maupun motor bakar yang digunakan sebagai penggerak alat-alat pertanian dan perikanan antara lain alat pembajak sawah, penggiling padi, penggiling

daging, pembangkit listrik, penggerak perahu, dan lain-lain.

Saat ini, para ahli teknik Indonesia telah mampu merancang dan membuat motor-motor dengan kapasitas kecil untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri. Selain itu teknisi dalam negeri sudah mampu merawat, memperbaiki, memodifikasi, dan meningkatkan prestasi motor secara mandiri.

Dalam kegiatan merancang, membuat, merawat, dan memodifikasi motor-motor dibutuhkan alat ukur yang dapat secara akurat mengukur daya yang dihasilkan oleh sebuah motor. Alat yang dapat digunakan untuk mengukur daya motor adalah dinamometer. Daya yang dihasilkan oleh motor dapat dihitung dari besarnya gaya torsi dan kecepatan putar poros. Dari hubungan antara gaya torsi dengan kecepatan putar poros,

maka dapat diperoleh besarnya daya yang merupakan karakteristik dari sebuah motor.

Dinamometer merupakan alat penting untuk menguji prestasi dari sebuah motor. Namun sangat disayangkan, harga sebuah dinamometer di Indonesia sangat mahal dengan harga di atas Rp 100 juta. Mengingat bahwa dinamometer sangat dibutuhkan untuk pengujian prestasi motor-motor kecil yang banyak dipergunakan di sektor pertanian, perikanan, dan industri proses usaha kecil menengah, maka dibutuhkan dinamometer yang dibuat dengan harga terjangkau namun tetap handal dan akurat.

Terdapat dua metode untuk menggerakkan dinamometer, dinamometer yang digerakan oleh roda kendaraan disebut casis dinamometer, sedangkan dinamometer yang digerakan oleh poros engkol motor disebut motor dinamometer. Kedua tipe dinamometer tersebut menggunakan rem untuk menyerap daya yang dihasilkan oleh motor. Selain itu, terdapat dua sensor pada dinamometer yaitu sensor untuk mengukur kecepatan putar dan sensor untuk mengukur gaya torsi pengereman yang kemudian digunakan untuk mengetahui daya serta karakteristik motor.

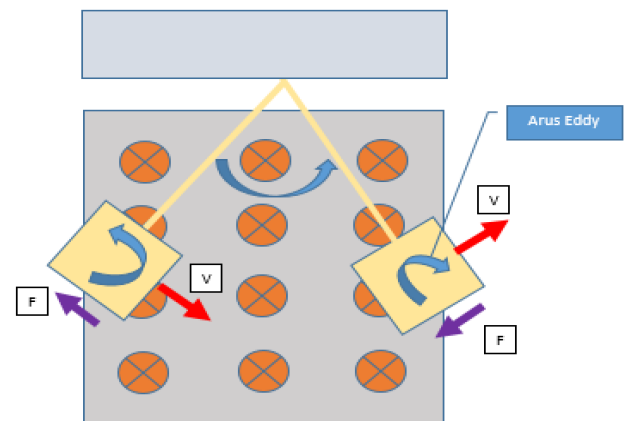
Terdapat lima sistem pengereman yang umum digunakan pada dinamometer untuk menyerap daya motor, yaitu [1]

- Rem Prony atau rem jepit adalah sistem pengereman yang paling awal digunakan dalam dinamometer, penyerapan daya terjadi pada saat pergesekan kanvas rem dengan puli yang digerakan oleh poros dinamometer.
- Rem Rope atau rem tali adalah sistem pengereman yang menyerap daya dari pergesekan roda dengan tali yang dikaitkan pada pegas salah satu ujungnya dan beban pada ujung lainnya.
- Rem air adalah sistem pengereman menggunakan fluida untuk menyerap daya dan mengubah menjadi panas akibat dari pergesekan pada fluida tersebut.
- Rem arus eddy adalah sistem pengereman yang menyerap daya dengan menggunakan rotor konduktif memotong suatu medan

magnet kemudian menimbulkan suatu arus yang diinduksikan dalam rotor sehingga berubah menjadi panas.

- Rem generator adalah sistem pengereman yang menyerap daya dengan membangkitkan tenaga listrik.

Dalam perancangan dan pembuatan dinamometer berkapasitas kecil ini, peneliti memilih dinamometer dengan menggunakan sistem rem arus eddy. Arus eddy merupakan arus berputar yang timbul akibat induksi pada suatu logam konduktif serta perubahan fluks magnet atau pergerakan yang terjadi dalam suatu medan magnet [2].

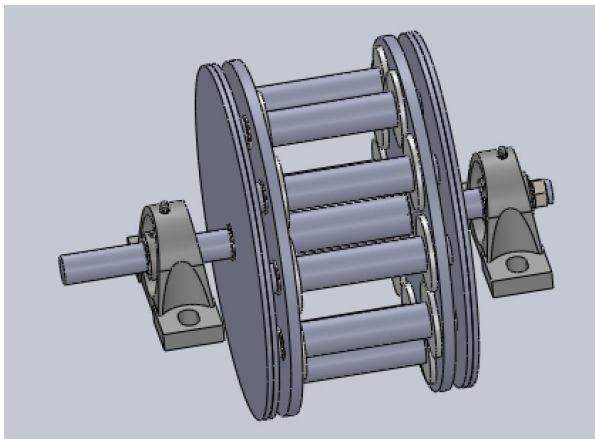


**Gambar 1.** Arus eddy akibat pergerakan melewati medan magnet

Perubahan fluks magnet ketika memasuki dan meninggalkan medan magnet menginduksi emf yang memaksa elektron bebas untuk berputar membentuk arus eddy. Menurut hukum Lenz, medan magnet yang dihasilkan oleh arus induksi akan berlawanan dengan medan magnet penginduksinya. Oleh karena itu, medan magnet yang dihasilkan oleh arus eddy ditolak oleh medan magnet penginduksinya, sehingga menimbulkan gaya yang berlawanan dengan gerakan logam konduktif tersebut. Rem arus eddy akan beroperasi sama seperti logam konduktif yang melewati medan magnet. Pada rem ini, logam konduktif berbentuk piringan berputar menembus beberapa medan magnet. Stator elektromagnet dipasang mengelilingi piringan konduktif sehingga menghasilkan medan magnet yang tegak lurus dengan penampang piringan. Arus eddy yang timbul pada piringan konduktif tersebut menimbulkan

suatu medan magnet yang menahan pergerakan dari piringan konduktif sehingga memberikan torsi pengereman. Pada medan magnet yang konstan, besar torsi pengereman meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar. Ketika arus yang mengalir pada elektromagnet meningkat, maka medan magnet meningkat yang akan menambah besar torsi pengereman.

Ilustrasi terjadinya Arus eddy akibat pergerakan melewati medan magnet diperlihatkan pada Gambar 1.



**Gambar 2.** Sketsa rem arus eddy

Hal utama yang perlu diketahui dalam perancangan rem arus eddy pada dinamometer adalah besar torsi pengeremannya pada kecepatan putar terendah dinamometer. Hal tersebut dikarenakan besar torsi pengereman pada rem arus eddy meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar motor. Kecepatan putar minimum dari dinamometer ini sebaiknya sebesar kecepatan putar terendah motor pada umumnya. Untuk menunjang keberhasilan pengukuran, sebaiknya Torsi pengereman saat kecepatan terendah rem arus eddy pada dinamometer sebesar torsi maksimum dari motor meskipun torsi tersebut pada umumnya dihasilkan pada kecepatan putar yang lebih tinggi dari kecepatan putar tersebut.

Gambar 2 memperlihatkan sketsa rem arus eddy.

Rem arus eddy menggunakan suatu piringan konduktif yang berputar pada medan magnet. Arus yang timbul akibat piringan

konduktif tersebut terinduksi memiliki arah tegak lurus dari medan magnet penginduksinya dan tangensial dari kecepatan putarnya.

Gaya pengereman yang timbul akibat arus eddy adalah

$$F_e = \frac{1}{4} \frac{\pi}{\rho} D^2 d B_0^2 c v \quad (1)$$

di mana

- $F_e$  = gaya pengereman
- $\rho$  = resistansi spesifik plat konduktif
- $D$  = diameter inti solenoida
- $d$  = tebal plat konduktif
- $B_0$  = total besar medan magnet
- $c$  = rasio dari total resistansi kontur
- $v$  = kecepatan tangensial plat konduktif

dengan

$$c = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{1}{4} \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{A}\right)^2 \left(\frac{A-r}{D}\right)^2} \right] \quad (2)$$

di mana

- $r$  = jarak antara pusat plat konduktif dengan pusat inti solenoida
- $A$  = radius plat konduktif
- $D$  = diameter inti solenoida

Penelitian tersebut menyuguhkan fakta bahwa ketika kecepatan putar piringan konduktif lebih rendah dari kecepatan kritis dimana torsi maksimum yang dapat dihasilkan oleh rem arus eddy terjadi, maka medan magnet induksi yang diakibatkan oleh arus eddy dapat diabaikan dibandingkan dengan induksi celah udara pada kecepatan putar nol. Maka dari itu besar medan magnet induksi yang tegak lurus dari piringan konduktif diasumsikan sama dengan besar medan magnet pada celah udara pada kecepatan nol.

Disimpulkan dari perancangan rem di atas, bahwa dibutuhkan informasi mengenai gaya pengereman yang dihasilkan dari rem arus eddy. Dengan mengetahui torsi pengereman minimum dan jarak antara titik pusat piringan konduktif dengan pusat medan magnet, maka dapat dihitung gaya torsi

$$\tau = F x r \quad (3)$$

di mana

$\tau$  = torsi

$F$  = gaya

$r$  = jarak antara pusat plat konduktif dengan pusat inti solenoida

Maka didapatkan persamaan untuk menghitung gaya pengereman dengan pengaturan ulang persamaan gaya torsi tersebut menjadi

$$F = \frac{\tau}{r} \quad (4)$$

Ketika radius dari piringan konduktif telah dipilih serta besar torsi pengereman yang dibutuhkan pada kecepatan minimum diketahui, maka gaya pengereman dapat diketahui.

Ketika gaya pengereman dari rem arus eddy diketahui, maka besar medan magnet yang dibutuhkan dapat dihitung dengan mengatur Persamaan (3) yang kemudian menghasilkan persamaan

$$B_0 = \sqrt{\frac{4Fep}{\pi D^2 dcv}} \quad (5)$$

Jika rem arus eddy yang digunakan memiliki sumber medan magnet sebanyak  $S$ , maka besar medan magnet yang harus dihasilkan oleh tiap sumber dapat diketahui dengan persamaan

$$B = \frac{B_0}{S} \quad (6)$$

di mana

$B$  = besar medan magnet tiap solenoida

$B_0$  = total besar medan magnet

$S$  = jumlah solenoida

fluks magnet tiap stator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan

$$\phi = B A_g \quad (7)$$

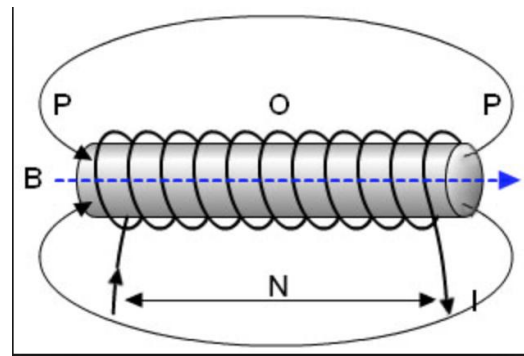
di mana

$\phi$  = besar fluks magnet tiap solenoida

$B$  = besar medan magnet tiap solenoida

$A_g$  = luas permukaan celah udara

Untuk menghasilkan medan magnet, digunakan suatu solenoida. Solenoida merupakan suatu kawat yang dililit spiral membentuk suatu kumparan pada suatu inti dan ketika kumparan tersebut dialiri arus listrik, maka akan timbul medan magnet yang dapat digunakan sebagai sumber medan magnet pada rem arus eddy, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 [3].



Gambar 3. Solenoida

Untuk merancang solenoida, maka perlu dihitung besar reluktansi total dari tiap stator. Reluktansi dari tiap stator merupakan penjumlahan dari reluktansi inti solenoid dengan reluktansi celah udara, dirumuskan dengan

$$\mathcal{R}_{total} = \mathcal{R}_{core} + \mathcal{R}_{gap} \quad (8)$$

di mana

$\mathcal{R}_{total}$  = reluktansi total

$\mathcal{R}_{core}$  = reluktansi inti solenoida

$\mathcal{R}_{gap}$  = reluktansi celah udara

Perhitungan reluktansi inti solenoid, dirumuskan dengan persamaan

$$\mathcal{R}_{core} = \frac{l}{\mu_n \mu_r A_c} \quad (9)$$

di mana

$\mu_0$  = permeabilitas udara

$\mu_r$  = relatif permeabilitas inti solenoida

$A_c$  = luas permukaan inti solenoida

Perhitungan reluktansi celah udara, dirumuskan dengan

$$\mathcal{R}_{gap} = \frac{g}{\mu_0 A_g} \quad (10)$$

di mana

$\mathcal{R}_{gap}$  = reluktansi celah udara  
 $g$  = panjang celah udara  
 $\mu_0$  = permeabilitas udara  
 $A_g$  = luas permukaan celah udara

$$P = V I \quad (14)$$

Jumlah lilitan tiap solenoid perlu dipilih sehingga arus yang dibutuhkan untuk melewati koil induksi dapat hitung untuk mendapatkan fluks magnet yang dibutuhkan dalam pengereman. Arus yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan

Dalam penelitian ini, peneliti merancang dan membuat sebuah dinamometer yang akan digunakan pada mobil hemat energi dari Tim Cikal Institut Teknologi Bandung (ITB). Mobil Cikal dan motor penggeraknya dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.

$$I = \frac{\phi R_{total}}{N} \quad (11)$$

di mana

$I$  = arus yang mengalir pada kumparan solenoida  
 $\phi$  = besar fluks magnet tiap solenoida  
 $R_{total}$  = total resistansi kumparan  
 $N$  = jumlah lilitan



**Gambar 4.** Mobil hemat energi Tim Cikal ITB

Catu daya yang perlu digunakan untuk mengalirkan arus tersebut perlu diketahui. Untuk mengetahuinya, maka resistansi dari lilitan tiap stator perlu diketahui. Ketika jumlah lilitan dan geometri stator diketahui, maka panjang kabel dapat diketahui juga, sehingga resistansi total dapat dihitung dengan persamaan

Mobil tersebut memiliki motor dengan daya 9 HP, torsi maksimum 9 Nm dan kecepatan putar minimum 1500 rpm.

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (12)$$

di mana

$R$  = resistansi kumparan  
 $\rho$  = resistivitas material kumparan  
 $L$  = panjang kawat  
 $A$  = luas penampang kawat



**Gambar 5.** Motor penggerak mobil Tim Cikal ITB

Dengan menggunakan resistansi total dan jumlah arus tiap stator, maka voltase dari catu daya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan

Dengan spesifikasi yang dimiliki mobil Cikal ITB, maka dirancang bahwa torsi yang perlu dihasilkan oleh rem arus eddy pada dinamometer yaitu 10 Nm pada kecepatan 1000 rpm

$$V = IR \quad (13)$$

di mana

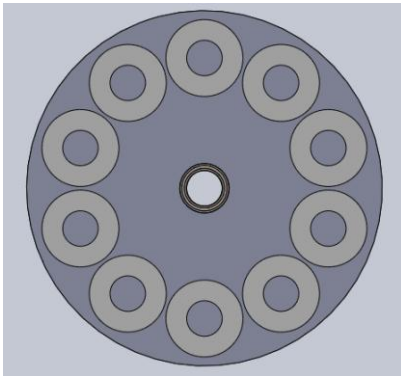
$V$  = tegangan  
 $I$  = arus  
 $R$  = resistansi

Dengan alasan ruang dalam penelitian, maka dipilih rem arus eddy dengan jarak pusat rotor ke titik pusat jari – jari solenoida

Serta daya dari catu daya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan



yaitu 15 cm, sehingga diketahui gaya pengereman yang dibutuhkan yaitu 66,67 N.



Gambar 6. Konfigurasi solenoida pada dynamometer

Material yang dipilih untuk bahan baku piringan konduktif yaitu aluminium dengan tebal 0,5 cm karena aluminium memiliki nilai konduktivitas yang besar [4].

Setelah dilakukan perhitungan, diketahui bahwa besar medan magnet yang dibutuhkan yaitu 1,56 T. Jumlah solenoid pada rem arus eddy yaitu dipilih sebanyak 10 solenoid, sehingga tiap solenoid harus menghasilkan medan magnet sebesar 0,156 T. Dengan luas inti magnet dirancang sebesar 4 cm<sup>2</sup>, maka fluks magnet yang dihasilkan tiap stator yaitu 6,25 Tcm<sup>2</sup>. Konfigurasi solenoida pada dynamometer dapat dilihat pada Gambar 6.

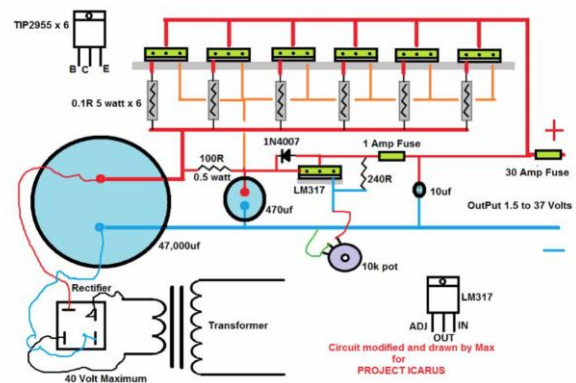
Reluktansi dari inti solenoid yang digunakan yaitu  $4,45 \times 10^7$  lilitan/H. Dengan jumlah lilitan yang dipilih yaitu sebanyak 1000 lilitan, maka diketahui arus yang harus mengalir pada kumparan yaitu sebesar 2,78 A untuk menghasilkan fluks magnet sehingga menghasilkan gaya pengereman sebesar 10 Nm pada kecepatan putar 1000 rpm.

Resistansi kumparan yang digunakan yaitu 3 Ohm. Maka dari itu dibutuhkan voltase catu daya sebesar 8,33 V dengan daya 230 W untuk memenuhi kebutuhan daya dari dynamometer rem arus eddy.

Dynamometer berfungsi untuk mendapatkan kurva torsi terhadap kecepatan putar. Untuk itu, dynamometer harus dikontrol besar gaya pengeremannya untuk selanjutnya dicatat kecepatan putar pada suatu selang gaya pengereman sehingga dapat dibuat kurva

karakteristik prestasi motor. Untuk mengatur besar gaya pengereman, maka besar medan magnet yang dihasilkan stator harus dapat diatur. Medan magnet tersebut diatur dengan mengubah besar arus yang mengalir pada solenoid yang dapat dilakukan dengan mengubah voltase yang diberikan oleh catu daya. Untuk itu, besar tegangan pada catu daya harus dapat diatur.

Pengaturan tegangan pada catu daya dilakukan dengan menggunakan catu daya yang dapat diatur. Catu daya tersebut terdiri dari sebuah catu daya dc 12V yang dikontrol menggunakan sebuah rangkaian yang berisikan LM317, 240 resistor, 10k potensiometer, dioda 1N4007 dan TIP2955.



Gambar 7. Skema rangkaian catu daya

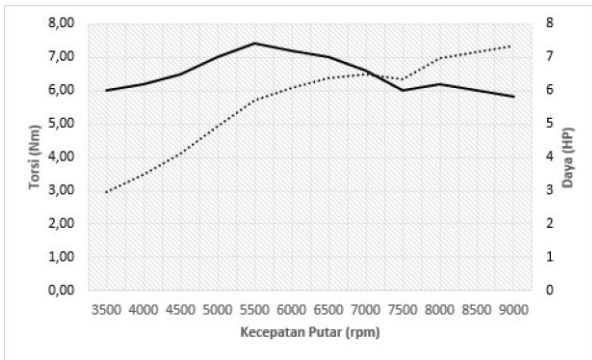
LM317 digunakan sebagai regulator yang tegangan keluarannya dapat diubah dengan menggunakan potensiometer. Karena LM317 hanya dapat mengalirkan arus sebesar 1A, maka arus sisanya dialirkan menggunakan TIP2955. Skema rangkaian catu daya dapat dilihat pada Gambar 7.

Pengukuran daya beserta karakteristik motor dilakukan dengan lima langkah, yaitu:

1. Motor dinyalakan pada keadaan idle
2. Buka throttle dari motor hingga penuh seiring dengan menaikkan tegangan dari rem arus eddy untuk menjaga kecepatan putar sama dengan idle
3. Catat kecepatan putar tersebut beserta torsi pengeremannya
4. Atur beban pengereman untuk mendapatkan berbagai data kecepatan putar serta torsinya

5. Data – data tersebut dibuat dalam grafik untuk menghasilkan kurva karakteristik prestasi motor

Pengukuran prestasi motor mobil tim Cikal ITB menghasilkan kurva karakteristik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8:



**Gambar 8.** Kurva torsi dan daya terhadap rpm motor mobil tim Cikal ITB. — torsi dan ... daya

Kurva karakteristik ini menggambarkan torsi serta daya motor mobil hemat energi Tim Cikal ITB dengan torsi maksimum sebesar 7,4 Nm pada 5500 rpm dan daya maksimum 7,3 kW pada 9000 rpm.

Biaya produksi dinamometer rem arus eddy terdiri dari komponen biaya rem arus eddy, catu daya, dan perkakas bantu dengan jumlah sebesar Rp. 20.000.000,- seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Biaya produksi dinamometer

No	Komponen	Harga
1	Rem arus eddy	Rp 15.000.000,-
2	Catu daya	Rp 3.000.000,-
3	Perkakas bantu	Rp 2.000.000,-
<b>Jumlah</b>		<b>Rp 20.000.000,-</b>

## Kesimpulan

Penelitian dengan objek mobil hemat energi tim Cikal ITB, didapatkan motor dengan torsi maksimum yang meningkat 10% dan daya yang meningkat 11% serta diikuti dengan pergeseran ke kiri kurva torsi terhadap rpm.

Hasil dari penggunaan dinamometer kecil arus eddy pada mobil hemat energi tim Cikal

adalah diketahuinya karakteristik awal dari prestasi motor untuk kemudian dibandingkan dengan performa motor setelah dilakukannya berbagai optimasi. Hasil dari perbandingan tersebut digunakan sebagai acuan untuk memilih optimasi yang tepat sehingga didapatkan mobil dengan penggunaan bahan bakar yang semakin hemat.

Perancangan dan pembuatan dinamometer kecil arus eddy mengeluarkan biaya sebesar Rp 20.000.000,-. Harga tersebut lebih murah dibandingkan dengan harga dinamometer yang dibeli dari luar negeri. Dengan biaya yang dapat terjangkau oleh pengusaha kecil menengah, dinamometer kecil rem arus eddy dapat dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan sektor pertanian dan perikanan dalam negeri serta mampu bersaing di pasar.

## Daftar Pustaka

1. Winther, J.B, *Dynamometer Handbook of Basic Theory and Applications*, Cleveland, Ohio, Eaton Corporation, 1975
2. C.T. David Jose, *Design of an Innovative Car Braking System using Eddy Current*, Instituto Superior Technic, 2002
3. Fitzgerald, A.E., *Electric Machinery*, Sixth Edition, McGraw-Hill, 2003
4. M.Z. Baharom, *Eddy Current Braking Study for Brake Disc of Aluminium, Copper and Zink*, Universiti Malaysia Pahang, EPC, 2011