

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN DINAMOMETER *EDDY CURRENT* UNTUK PENGUJIAN MOTOR BAKAR 0,81 KW

Fahma Ilmian Syah¹, Karnowo², Senthot Dhimas W. R³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
Email: fahma1407@gmail.com

Abstrak. Semakin berkembangnya kehidupan manusia menyebabkan konsumsi energi yang terus meningkat terutama minyak bumi. Motor bakar banyak digunakan sebagai mesin penggerak. Daya dan torsi yang dimiliki mempengaruhi kinerja dari motor bakar. Oleh karena itu dibutuhkan alat dinamometer agar dapat mengukur kemampuan motor bakar sehingga energi yang digunakan tidak mubazir. Dinamometer menggunakan prinsip eddy current sebagai pengereman. Medan magnet timbul dari 3 solenoid yang dialiri arus 8, 12 dan 16 A. Variasi putaran mesin saat pengujian yaitu 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 dan 3500 rpm. Hasil pengujian dengan kuat arus 12 A mendapat torsi paling tinggi yaitu 1,08 Nm dengan daya 0,28 kW. Medan magnet yang timbul sebesar 27,7 T pada permukaan solenoid kemudian berkurang dengan jarak 3mm menjadi 6,03T.

Kata Kunci : dinamometer eddy current; solenoid; torsi; daya.

PENDAHULUAN

Tidak dapat dipungkiri lagi bahwa keberadaan minyak bumi sudah menjadi energi utama yang memiliki peranan penting dalam keberlangsungan kegiatan industri ataupun transportasi. Berdasarkan data dari BP *Statistical Review of World Energy*⁽¹⁾ yang dirilis pada tahun 2017, konsumsi minyak bumi di Indonesia mengalami peningkatan. Pada tahun 2006 konsumsi mencapai angka 1244 ribu barel per hari, sedangkan pada tahun 2017 mengalami peningkatan yang cukup signifikan yaitu mencapai 1615 ribu barel per hari.

Dalam mengoperasikan motor bakar maka diperlukan daya yang dapat mencukupi kebutuhan dari penggunaan. Untuk mengetahui daya motor bakar maka dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan dinamometer. Dinamometer merupakan perangkat yang difungsikan untuk mengukur torsi dan percepatan suatu mesin yang berputar serta mesin yang diuji harus dioperasikan pada lingkungan yang terkendali⁽²⁾. Dalam melakukan sebuah pengujian, mesin yang diukur akan diletakkan pada sebuah *testbed* dan poros mesin akan dihubungkan dengan poros dinamometer. Untuk menguji motor bakar salah satunya ialah menggunakan dinamometer *eddy current*. Prinsip kerja dinamometer *eddy current* yaitu menggunakan penghambat yang bersasal

dari medan magnet. Medan magnet tersebut diciptakan dari arus listrik yang dialirkan ke dalam lilitan yang terdapat dalam alat uji tersebut. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini akan memfokuskan pada perancangan dan pembuatan dinamometer tipe *eddy current* sebagai alat uji performa motor bakar.

Setio dan Irwan (2015) melakukan penelitian berjudul “Perancangan dan Pembuatan Dinamometer Kecil dengan Menggunakan Rem Arus *Eddy*”. Tujuan dari penelitian ini yaitu agar dapat merancang dan membuat dinamometer dengan harga yang terjangkau, handal dan akurat. Perancangan dinamometer akan difokuskan pada penggunaan motor pada mobil hemat energi dari Tim Cikal Institut Teknologi Bandung (ITB). Mobil tersebut menggunakan motor dengan daya mencapai 9 HP, torsi maksimum 9 Nm dengan kecepatan putar minimum 1500 rpm. Dengan spesifikasi tersebut, maka peneliti merancang bahwa torsi yang perlu dihasilkan oleh rem arus *eddy* sebesar 10 Nm pada kecepatan 1000 rpm. Pengukuran prestasi motor dari mobil tim Cikal ITB menghasilkan kurva hubungan antara torsi dan kecepatan putar. Torsi maksimum yang dicapai yaitu 7,4 Nm pada 5500 rpm dan daya maksimum 7,3 kW pada 9000 rpm

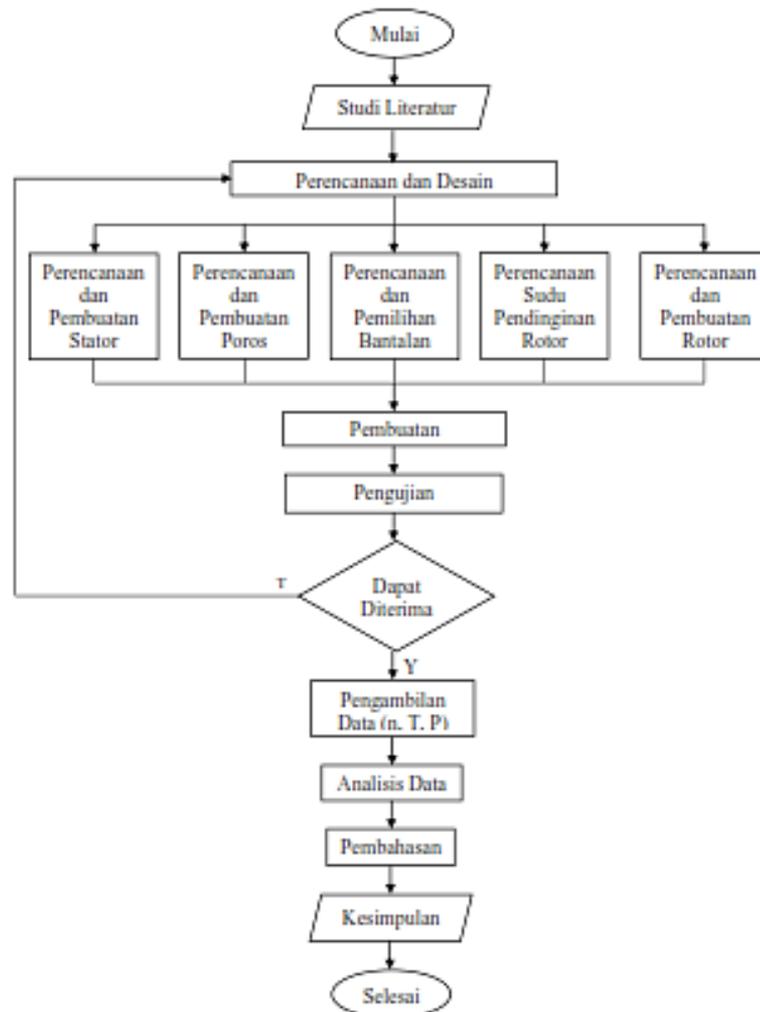
Sinaga dan Sonda (2013) melakukan penelitian dengan judul “Pemilihan Kawat Enamel untuk Pembuatan Solenoid Dinamometer Arus *Eddy* dengan Torsi Maksimum 496 Nm”. Hal utama yang dipelajari dari penelitian ini ialah melakukan pemilihan kawat enamel yang layak digunakan sebagai kumparan solenoid dinamometer arus *eddy*. Kawat solenoid yang telah digulung pada inti besi diuji menggunakan arus 1 hingga 4,4 A. Dari penelitian tersebut, kawat yang akan digunakan yaitu kawat Hellenic Mediotherm 200 yang menghasilkan torsi 62,07 Nm yang tersusun dari 8 solenoid dengan panjang kawat 184 m.

Balte, et al. (2015) meneliti membuat penelitian berjudul “*Design and Fabrication of Electromagnetic Dynamometer for Micro-Power Measurement*”. Penelitian itu bertujuan mendesain dan membuat dinamometer elektromagnetik untuk pengukuran daya mikro yang berasal dari motor listrik yang akan digunakan untuk penggerak utama dengan torsi rendah. Dinamometer diuji menggunakan tiga variabel berbeda, yaitu dengan mengubah celah antara rotor dengan magnet, mengubah tegangan pada magnet dan mengubah tegangan yang diberikan pada motor. Hasil dari penelitian tersebut yaitu pada variabel celah antara rotor dengan magnet mengharuskan adanya perbedaan suplai arus DC yang diberikan ke solenoid, untuk variasi tegangan tidak terlalu berpengaruh saat pengujian dan kecepatan sudut motor listrik dikurangi antara 25 hingga 80 rpm untuk kekuatan medan magnet yang berbeda.

Rodrigues et al. (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Design and Fabrication of Eddy Current Braking System*”. Penelitian ini membahas mengenai desain dan pembuatan sistem pengereman yang memanfaatkan arus eddy. Tujuan dilakukannya penelitian tersebut yaitu untuk melakukan studi perbandingan waktu antara teoritis dan praktikum dengan menetapkan celah rem elektromagnetik dalam penurunan efektifitasnya. Berdasarkan hasil secara teoritis, pengurangan waktu pengereman sebesar 23,97% dengan celah udara maksimum 3mm

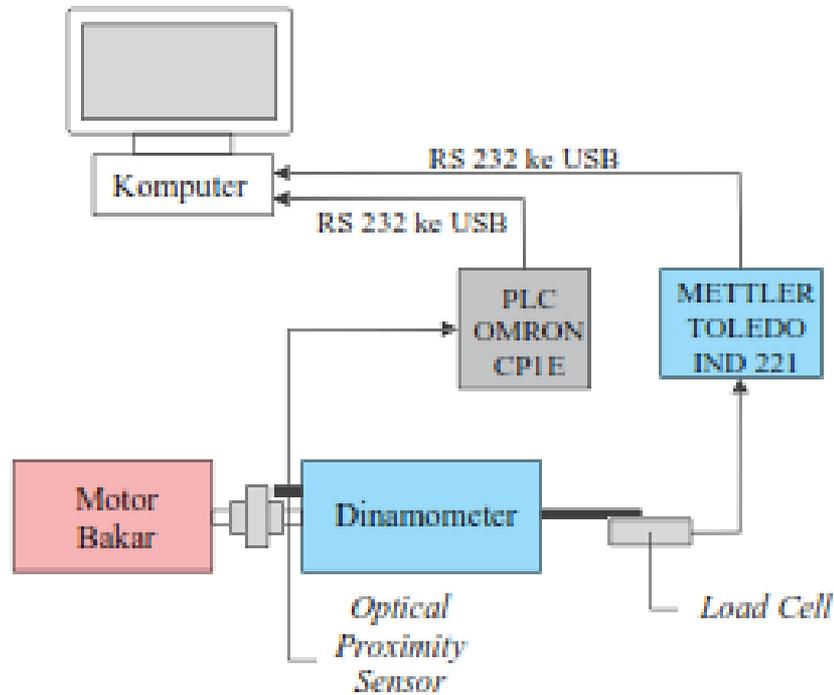
METODE

Diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Teknik pengumpulan data Pengambilan data dimulai dengan menghubungkan motor dengan dinamometer dan mengukur kecepatan putaran mesin menggunakan *proximity sensor*. Langkah selanjutnya yaitu mengalirkan listrik pada inti besi sehingga menimbulkan medan magnet yang akan menghambat putaran pada rotor. Hambatan tersebut merupakan gaya tekan yang terjadi pada *load cell*, sehingga *load cell* akan menghasilkan data beban dari tekanan tersebut kemudian data tersebut diolah menggunakan *software* yang terdapat pada komputer sehingga mengasilkan nilai yang dapat dibaca oleh operator.



Gambar 2. Skema Pengujian

Tabel 1. Spesifikasi dinamometer

Variabel Perancangan	Nominal variabel
Diameter Kawat	0,001 m
Luas Kawat (A_k)	3,14 mm ²
Tahanan Jenis Kawat (ρ)	0,0175 mm ² /m
Panjang Kawat (l_k)	180 m
Tahanan Kawat (R_c)	4,01 Ω
Jumlah Inti	3
Tahanan Total (R_t)	1,34 Ω
Kuat Arus (I)	12 A
Panjang Inti (L_s)	0,098 m
Jari2 Inti (R_s)	0,0245 m
Keliling Kutub (K_{ell})	0,1538 m
Luas Kutub (A_s)	0,0018 m ²
Jumlah Lilitan (N_{lt})	1200
Permeabilitas Besi (μ_r)	150 Wb/A.m
Medan Magnet (B)	6,03 Tesla
Putaran Mesin (n)	5000 rpm
Daya (P)	1,5 HP

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Dinamometer *eddy current* dengan 3 inti besi
- b. Trafo 2 kW
- c. Dioda 35 kVA
- d. Kopling tak tetap
- e. *Optical Proximity Sensor*
- f. *Load cell*
- g. PLC Omron CP1E
- h. Mettler Toledo IND221
- i. Motor bakar 30,5cc 2 tak
- j. Komputer
- k. Kabel RS232 ke USB

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Baja St 60 untuk pembuatan poros
- b. Baja St 40 untuk pembuatan inti besi dan rotor
- c. Aluminium untuk pembuatan stator
- d. Tembaga untuk kawat lilitan
- e. *Ball bearing* 6002
- f. *Ball bearing* UC201

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Variabel bebas merupakan variabel yang dapat mempengaruhi atau menyebabkan terjadinya perubahan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah inti besi solenoid. Variabel terikat yaitu faktor-faktor yang dihasilkan dari pengukuran dalam sebuah penelitian. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah daya maksimum mesin yang diuji. Sedangkan variabel kontrol merupakan variabel yang diusahakan untuk dinetralisasi dalam sebuah penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah kecepatan putaran mesin.

Analisis data menggunakan metode deskriptif eksperimen yaitu metode dalam membuat penelitian secara sistematis dan akurat tentang fakta yang didapat dari penelitian. Untuk perhitungan data yang telah diambil, rumus-rumus yang diperlukan adalah rumus daya (P) seperti persamaan (2) dan rumus torsi (T) seperti persamaan (1) sebagai berikut.

$$T = F \times b \quad (1)$$

Dimana: T= torsi (Nm)

F= gaya (N)

b= panjang lengan (m)

$$P = 2 \pi n x T x 10^{-3} P = 2 \pi n x T x 10^{-3} \quad (2)$$

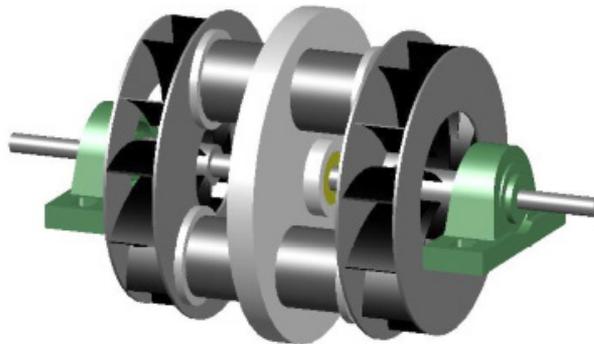
Dimana: P= daya (kW)

n= putaran mesin (rev/s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain dan Perhitungan Dinamometer *Eddy Current*

Perancangan dinamometer *eddy current* dimulai dengan merancang bagian-bagian penting yang kemudian disusun agar menjadi alat uji yang dapat digunakan. Berikut adalah gambar hasil perancangan tersebut.



Gambar 3. Desain dinamometer *eddy current*

Pada pembuatan alat terdapat komponen-komponen penting yaitu:

a. Poros

Hasil perhitungan dengan mempertimbangkan beban dan getaran, poros yang dibuat direncanakan berdiameter 11,9 mm dengan bahan yang berasal dari St 60.

b. Bantalan

Bantalan yang digunakan yaitu tipe UC201 dengan perhitungan umur 152410,61 jam pemakaian.

c. Stator

Pada stator akan ditempatkan inti besi sebanyak 3 buah, kemudian pada inti besi tersebut akan dililitkan kawat tembaga yang bertujuan untuk memunculkan medan magnet. Diameter kawat tembaga 1 mm dengan panjang 180 m. dari lilitan yang telah dibuat, menghasilkan hambatan total 1,34 Ω , kemudian dialiri arus sebesar 12 A dan menghasilkan tegangan sebesar 16,08 V. Solenoid dibuat menggunakan inti besi yang berasal dari St 40 dengan bentuk silinder pejal yang berdiameter 0,049 m dengan panjang 0,098 m. Medan magnet yang mampu dibangkitkan menggunakan rangkaian tersebut yaitu 27,7 T. Namun angka tersebut mengalami pengurangan karena celah 3 mm antara rotor dengan solenoid, medan magnet berukrang menjadi 6,03 T.

d. Rotor

Untuk mengatasi kenaikan temperatur agar tidak merusak komponen maka diperlukan pendinginan yang berasal dari rotor yang berputar saat pengujian berlangsung. Dimensi rotor yang direncanakan memiliki diameter sis dalam 0,06 m dan diameter sisi luar 0,172 m. Sudut dalam pada sirip-sirip rotor yaitu 77° dan sudut luar sebesar 55° dengan lebar sirip 0,028 m. pada pengujian menggunakan kecepatan putar 4000 rpm akan menghasilkan daya pendinginan 286,72 W.

e. Load cell

Load cell yang digunakan diproduksi oleh Mettler Toledo dengan beban maksimum 15 kg. Dari sensor kemudian dihubungkan menggunakan mikrokontroler Mettler Toledo dengan seri IND221. Baru kemudian dihubungkan menggunakan kabel RS232 ke komputer dan data beban akan diolah menggunakan software yang sudah disiapkan.

f. Optical proximity sensor

Optical proximity sensor digunakan untuk mengidentifikasi kecepatan putar. Sensor tersebut menggunakan inframerah untuk mendeteksi pergerakan benda. Untuk mengatur fokus inframerah dibutuhkan kontroler agar bisa mendeteksi pergerakan secara akurat sesuai dengan jarak objek. Dari kontroler kemudian dihubungkan ke PLC. PLC yang digunakan yaitu Omron Sysmac CP1E. PLC berguna untuk membaca gelombang yang diterima sensor. Selanjutnya diteruskan ke komputer menggunakan kabel USB ke RS232.

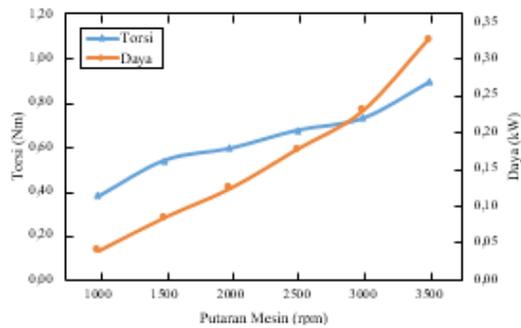
g. Power Supply Dinamometer

Solenoid membutuhkan arus listrik untuk memunculkan medan magnet pada dinamometer. Dari perhitungan solenoid tersebut, tegangan sumber yang dibutuhkan yaitu sebesar 16,08 V DC dengan kuat arus 12 A, rangkaian dibuat dengan sebuah transformator 2kVA yang arusnya dibuat searah menggunakan dioda 35 kW.

Data Hasil Pengujian

Tabel 1 Data Pengujian Performa Mesin Dengan Solenoid Berarus 8A

Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm)	Daya (kW)
1000	0,38	0,04
1500	0,54	0,08
2000	0,59	0,12
2500	0,68	0,18
3000	0,73	0,23
3500	0,89	0,33



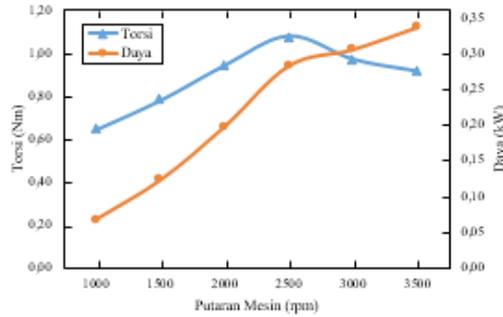
Gambar 4. Grafik torsi dan daya terhadap rpm motor bensin 2 tak 30,5 cc dengan beban solenoid berarus 8A.

Gambar 4 di atas menunjukkan grafik torsi yang selalu mengalami kenaikan. Torsi pada grafik tersebut selalu mengalami kenaikan disebabkan karena beban yang diberikan oleh medan magnet pada dinamometer saat pengujian masih dalam jangkauan yang dapat diterima oleh motor. Pada saat pengujian motor menggunakan beban pengereman yang kecil, energi dari bahan bakar yang dipakai untuk melawan gaya tersebut juga kecil. Sehingga saat pengujian berlangsung mesin mampu menghasilkan grafik torsi yang terus naik seiring dengan bertambahnya putaran mesin (Arijanto, et al, 2010).

Gambar 4 menggambarkan suatu hubungan grafik yang berbanding lurus yaitu antara daya poros dengan putaran mesin. Semakin meningkatnya putaran mesin terhadap beban maka akan semakin banyak pula pembakaran yang akan terjadi di dalam ruang bakar. Peningkatan putaran mesin juga akan berpengaruh pada bertambahnya jumlah langkah kerja mesin yang dialami pada waktu yang bersamaan (Ruspandi, et al., 2015)

Tabel 2 Data pengujian performa mesin dengan solenoid berarus 12A

Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm)	Daya (kW)
1000	0,65	0,07
1500	0,78	0,12
2000	0,95	0,20
2500	1,08	0,28
3000	0,97	0,31
3500	0,92	0,34



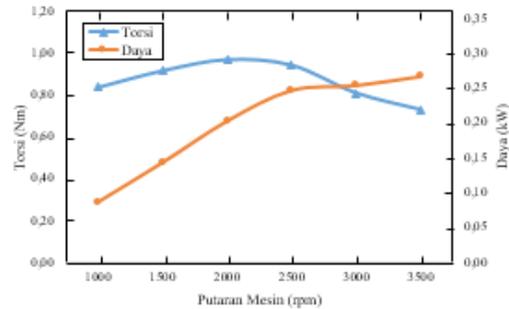
Gambar 5. Grafik torsi dan daya terhadap rpm motor bensin 2 tak 30,5 cc dengan beban solenoid berarus 12A.

Gambar 5 menggambarkan grafik torsi yang terus mengalami kenaikan. Hal itu terjadi karena pada saat mesin diuji menggunakan putaran rendah, torsi yang dihasilkan cenderung kecil kemudian akan terus mengalami peningkatan hingga titik puncak. Setelah mencapai titik puncak, torsi akan terus menurun pada putaran mesin yang lebih tinggi. Terjadinya hal tersebut disebabkan karena pada pembebanan yang besar, sebagian energi dari bahan bakar digunakan untuk melawan gaya pengereman yang berasal dari dinamometer sehingga mesin tidak mampu berputar lebih cepat. Untuk mencapai putaran mesin yang lebih maka pembebanan harus dikurangi (Arijanto, et al, 2010)

Sedangkan pada grafik daya secara keseluruhan mengalami peningkatan dari putaran awal hingga akhir. Kurva daya semakin tinggi seiring peningkatan putaran mesin. Hal itu dapat terjadi karena semakin besar putaran mesin tiap satuan waktu menyebabkan semakin banyak langkah kerja yang dilakukan oleh piston pada waktu bersamaan (Ruspandi, et al., 2015)

Tabel 3 Data pengujian performa mesin dengan solenoid berarus 16A

Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm)	Daya (kW)
1000	0,84	0,09
1500	0,92	0,14
2000	0,97	0,20
2500	0,95	0,25
3000	0,81	0,25
3500	0,73	0,27



Gambar 6. Grafik torsi dan daya terhadap rpm motor bensin 2 tak 30,5 cc dengan beban solenoid berarus 16A

Gambar 6 menunjukkan grafik torsi yang mengalami kenaikan dan mengalami penurunan setelah mencapai titik puncak. Pada putaran rendah torsi yang dihasilkan akan terus mengalami kenaikan dan mencapai titik maksimum. Setelah mencapai titik puncak, torsi akan terus menurun pada putaran mesin yang lebih tinggi. Grafik torsi terjadi penurunan dikarenakan pembebanan yang besar, sebagian energi yang berasal dari bahan bakar digunakan untuk melawan gaya pengereman yang diberikan oleh dinamometer sehingga mesin tidak mampu mencapai putaran mesin yang lebih tinggi. Gaya pengereman yang diberikan harus dikurangi untuk mencapai putaran mesin yang lebih tinggi (Arijanto, et al, 2010)

Grafik daya selalu mengalami peningkatan seiring bertambahnya kecepatan putar mesin karena daya yang dihasilkan untuk mengatasi beban yang ditimbulkan oleh dinamometer semakin besar. Daya terus meningkat disebabkan oleh semakin banyaknya langkah kerja yang dilakukan mesin pada saat putaran mesin ditingkatkan (Ruspandi, et al., 2015)

SIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Hasil pengujian motor bakar mendapat torsi paling tinggi yaitu 1,08 Nm, hasil tersebut sudah mendekati torsi yang ada pada spek motor bakar yaitu 1,2 Nm. Daya yang dicapai pada torsi tersebut ialah 0,28 kW yang terjadi pada putaran mesin 2500 rpm. Torsi tertinggi didapat saat pengujian menggunakan kuat arus sebesar 12 A. Dengan kuat arus tersebut medan magnet yang dapat ditimbulkan sebesar 27,7 T. Dengan celah antara solenoid dengan rotor 3 mm sehingga medan magnet berkurang menjadi 6,03T.

DAFTAR PUSTAKA

- BP. 2017. *Statistical Review of World Energy*. Juni. Amerika Serikat.
- Hamada, K. I. dan Rahman, M. M.. 2014. An Experimental Study for Performance and Emissions of a Small Four-Stroke SI Engine for Modern Motorcycle. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 10:1852-1865.
- Setio, S. dan Irwan, A. 2015. Perancangan dan Pembuatan Dinamometer Kecil dengan Menggunakan Rem Arus Eddy. *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV*.

Institut Teknologi Bandung. Banjarmasin.

- Sinaga, N. dan Sonda, M.H. 2013. Pemilihan Kawat Enamel untuk Pembuatan Solenoid Dinamometer Arus Eddy dengan Torsi Maksimum 496 Nm. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1): 5-11.
- Balte, A. S., Kulloli, V. K. dan Gajjal, S. Y. 2015. Design and Fabrication of Electromagnetic Dynamometer for Micro-Power Measurement. *International Journal of Engineering Sciences and Research Technology*, 4(2): 430-434.
- Rodrigues, O., Omkar T., Shrutika S., Henderson C., Girish D. 2016. Design and Fabrication of Eddy Current Braking System. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(4): 809-815.
- Arijanto dan Utomo, T.S. 2010. Pengujian Prestasi Mesin Isuzu Panther Menggunakan Alat Penghemat BBM Elektrolizer Air. *Rotasi*, 12(1): 23-30.
- Ruspandi, S., Suryadimal dan Satria, I. 2015. Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Motor Bakar Bensin Berbahan Bakar Pertalite dengan Campuran Kapur Barus. *E-jurnal*, 7(2): 1-10.

