

Pembuatan *Alternator Axial Flux Coreless* Dengan Menggunakan Magnet Permanen

Clarissa Amelia Sitorus dan Yono Hadi Pramono

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: yonohadipramono@gmail.com

Abstrak—Telah dilakukan penelitian pada *alternator axial flux coreless* dengan menggunakan magnet permanen dimana penelitian ini bertujuan menghitung efisiensi berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis maupun secara percobaan. Rotor magnet permanen menggunakan 12 magnet neodimium dengan 6 koil sebagai stator. Generator aksial ini diputar dengan motor pada kecepatan berbeda (360; 482; 482,7; 485,1; 485,3; 485,9). Dari hasil pengukuran didapatkan hasil pada 3 koil maupun 6 koil dapat menghasilkan tegangan yang sebanding dengan kecepatan putarnya. Untuk kecepatan terendah 360 rpm didapatkan 5,8 Volt pada 3 koil sedangkan 13,8 Volt pada 6 koil dengan arus yang sama sebesar 2,5 Ampere. Perhitungan tegangan juga dilakukan secara teoritis berdasarkan parameter fisik dan studi literatur. Perbedaan hasil perhitungan dengan hasil pengukuran rata – rata 22%. Perhitungan efisiensi generator dilakukan dengan membandingkan daya output generator dengan daya output motor penggerak. Hasil pada generator 3 koil memiliki efisiensi tertinggi 28,75 % sedangkan 6 koil sebesar 62,083 %. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa generator aksial magnet permanen akan memiliki efisiensi yang cukup tinggi dengan semakin banyak koil dan semakin cepat putarannya.

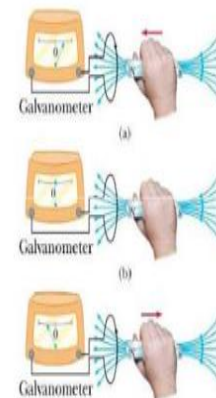
Kata Kunci— Efisiensi, Magnet Permanen, Rotor, RPM, Stator.

I. PENDAHULUAN

ENERGI memegang peranan penting dalam berbagai kehidupan manusia. Secara garis besar menurut sumbernya energi dibedakan menjadi dua yaitu sumber energi tidak dapat diperbaharui (*Non – Renewable Energy*) dan sumber energi dapat diperbaharui (*Renewable Energy*) [1]. Sumber energi tidak dapat diperbaharui merupakan sumber energi yang memiliki jumlah terbatas dengan contoh yang berasal dari fosil yang terbentuk dalam jutaan tahun lamanya sedangkan sumber energi dapat diperbaharui adalah sumber energi yang digunakan secara terus menerus tanpa dikhawatirkan habis dengan contoh *solarcell*, *geothermal*, energi angin. Penelitian ini menggunakan sejumlah magnet permanen dari bahan Neodymium yang disusun sedemikian rupa sehingga menghasilkan luaran tegangan 1 fasa. Mengapa dipilih magnet permanen, karena rangkaian akan lebih sederhana tanpa memerlukan catu daya tersendiri yang berfungsi untuk membangkitkan medan magnet induksi. Generator merupakan salah satu alat yang mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Generator yang menghasilkan listrik bolak – balik (AC) disebut juga dengan *alternator*. Prinsip dasar *alternator* menggunakan hukum Faraday yang berbunyi “Apabila suatu batang penghantar

digerakkan didalam suatu medan magnet yang mempunyai garis gaya magnet dari arah kutub utara ke arah kutub selatan, maka pada batang penghantar akan memotong garis – garis gaya magnet yang akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) atau EMF (*Electro Motive Force*) [2]. *Alternator* terdiri dari 2 bagian besar yaitu *stator* dan *rotor*. Dimana pada *stator* terdapat kumparan – kumparan yang menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) sedangkan pada *rotor* terdapat sebuah sumber medan magnetik. Untuk sumber medan magnetik dari magnet permanen, jenis magnet yang terbaik adalah jenis *Besi Boron Neodymium* (NdFeB) [3].

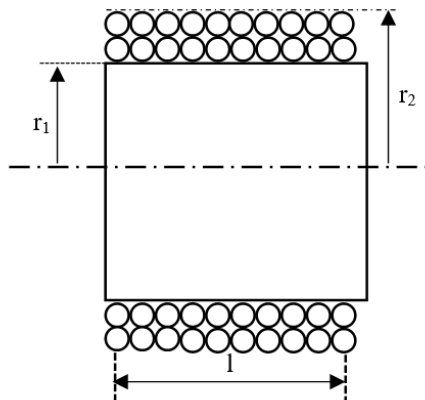
Induksi elektromagnetik yang terjadi pada generator mengacu pada hukum Faraday dan hukum Lenz. Sejalan dengan Faraday, menurut Lenz, arus induksi yang muncul akan berlawanan arah dengan arah perubahan fluks yang menyebabkan arus induksi mengalir. Dengan kata lain, arah induksi menghasilkan medan magnet yang melawan arah perubahan fluks magnet [4].



Gambar 1. Prinsip Hukum Lenz [4].

Generator fluks aksial memiliki struktur yang hampir sama dengan generator fluks radial. Secara umum persamaan diantara keduanya terletak pada komponen *stator* dan *rotor* sedangkan perbedaan diantara keduanya yaitu pada arah fluksnya dimana pada generator fluks radial, arah fluks magnet keluar kesegala arah sehingga bentuk tersebut tidak semua fluks tertangkap pada *stator*. sehingga hal ini menyebabkan sebagian fluks terbentuk akan terbuang dan menjadi rugi – rugi pada generator. Sedangkan pada generator fluks aksial, arah fluks magnet mengarah secara aksial sehingga kondisi ini membuat fluks tidak banyak terbuang dan membuat generator tersebut memiliki efisiensi yang lebih tinggi [5].

Induktor adalah komponen berupa kumparan kawat penghantar yang memiliki bahan inti berupa bahan elektrik. Induktor dapat menyimpan energi dalam bentuk medan magnetik. Pada Penelitian ini menggunakan kumparan dengan tipe lilitan berlapis inti udara (*Multilayer Air Core Solenoid*).

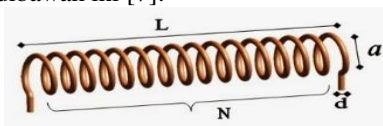


Gambar 2. *Multilayer Air Core Solenoid* [6]

Pada Gambar 2. diatas maka dari tabel diatas dapat dirumuskan sebagai berikut [6] :

$$L = \frac{31.6 r_1^2 N^2}{6r_1 + 9l + 10(r_2 - r_1)} \quad (1)$$

Untuk menghitung jumlah lilitan berlapis maka dapat dilihat gambar dibawah ini [7]:



Gambar 3. Lilitan Kawat [7]

Pada Gambar 3. diatas maka dapat dihitung jumlah lilitan berlapis adalah [8] :

$$N_n = \frac{L}{d} \quad (2)$$

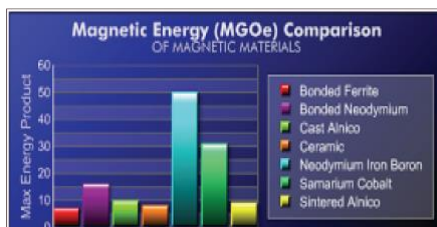
Untuk menghitung panjang kawat berlapis, yaitu [8] :

$$l_n = 2\pi a N_n \quad (3)$$

Untuk menghitung hambatan induktor [8] :

$$R = \rho \frac{l_n}{A} \quad (4)$$

Perbandingan kekuatan magnet neodymium dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 4. Perbandingan Kekuatan Magnet Neodymium [9]

Dinamometer biasanya digunakan untuk mengukur torsi sebuah mesin. Prinsip kerja dari Gambar 5. adalah rotor dihubungkan secara elektromagnetik dan bergesekan mekanis terhadap *stator* yang ditumpu oleh bidang datar yang mempunyai gesekan kecil sehingga torsi yang dihasilkan *stator* maka *rotor* yang berputar dapat diukur dengan cara menyeimbangkan *stator* dengan pemberat [10].

Torsi mekanis yang dihasilkan mesin adalah [10]:

$$\tau = W \times r \quad (5)$$

Dengan : τ = torsi (Nm), W = berat load cell (Newton) R = jarak poros ke load cell (meter)

Adapun daya mekanis (P_{output}) yang dihasilkan oleh mesin atau diserap oleh dinamometer adalah [10] :

$$P = 2\pi v \tau \quad (6)$$

Dengan : P = watt, v = kecepatan putar (rpm), τ = torsi

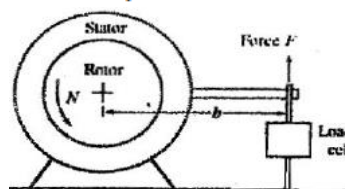
Sedangkan daya elektrik yang diserap oleh motor penggerak (P_{input}) adalah

$$P = V I \quad (7)$$

Dengan : P = watt, V = tegangan (volt), I = arus (ampere)

Effisiensi yang dihasilkan oleh mesin adalah [10]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{input}} \times 100 \% \quad (8)$$



Gambar 5. Prinsip Kerja Dinamometer [10]

NdFeB dikenal sebagai magnet tanah jarang karena komposisi materialnya tersusun dari unsur – unsur tanah jarang. NdFeB memiliki sifat korosif dan energi produk yang maksimum [11].

II. URAIAN PENELITIAN

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat dalam melaksanakan penelitian sehingga mempermudah penulis untuk melaksanakan kegiatan penelitian di lapangan. Sumber – sumber pustaka yang digunakan penulis dalam penelitian ini merupakan jurnal nasional dan internasional, buku teks, makalah dan dari internet.

B. Perancangan Alat

Alternator axial flux coreless dengan menggunakan magnet permanen yang dirancang dalam penelitian ini terdiri atas 6 koil yang dihubungkan secara seri yang diletakkan pada piringan *stator*, magnet permanen neodymium 12 buah pada piringan *rotor*, satu buah flywheel dan satu buah AC motor 200 watt sebagai penggerak. Adapun spesifikasi lengkap dari *alternator* ini dapat dilihat pada tabel 1. dibawah ini :

Tabel 1. Spesifikasi Alternator yang dibuat

Parameter	Nilai
Arus	3 Ampere
Voltase	16 Volt
Daya	48 watt
Jumlah Magnet	12 buah
Jumlah Koil	6 pasang
Jumlah lilitan	130
Diameter kawat	1,6 mm
Diameter <i>Rotor</i>	0,35 m
Diameter <i>Stator</i>	0,35 m
Jari – jari dalam solenoida	0,05 m
Jari – jari luar solenoida	0,07 m



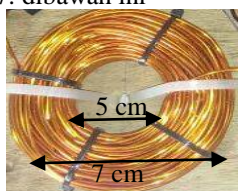
Gambar 6. Gambaran Rancangan Alat Alternator.

C. Pembuatan Sistem Pemutar

Pembuatan sistem pemutar *rotor* 12 magnet permanen dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut pertama menentukan jumlah magnet pada piringan rotor. Pada penelitian ini menggunakan 12 buah magnet permanen yang disusun secara simetris dengan kutub yang berbeda antara magnet satu dengan magnet yang disebelahnya. Kedua adalah menentukan jenis magnet dimana magnet yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis magnet NdFeB dengan ukuran 0,05 m x 0,05 m berbentuk persegi. Pemilihan magnet dengan jenis ini dikarenakan magnet jenis neodmium ini lebih kuat dari magnet baja biasa dan cukup mudah didapatkan dipasaran. Ketiga adalah menentukan jarak antar magnet dengan sudut magnet terhadap pusat piringan *rotor*. Dengan jumlah 12 magnet maka tiap magnet diletakkan pada tiap sudut 36 derajat. Keempat adalah menentukan berat piringan *rotor* agar *rotor* dapat dengan mudah diputar pada kecepatan rendah. Bahan yang dipilih adalah bahan resin dengan diameter 0,35 m. Diameter piringan *rotor* menyesuaikan dengan diameter piringan *stator* agar posisi tiap magnet tepat berada diatas kumparan *stator* [12].

D. Pembuatan 6 Koil

Dalam pembuatannya mula – mula diperlukan pola untuk membentuk gulungan (koil) dengan bentuk yang telah disesuaikan, kemudian proses pengulungan kawat seperti terlihat pada Gambar 7. dibawah ini



Gambar 7. Proses Pengulungan Kawat

Kumparan yang digulung memiliki diameter dalam sebesar 5 cm dan diameter luar 7 cm dengan banyak lilitan sebesar 300 lilitan seperti terlihat pada Gambar 7 diatas. Setelah proses penggulungan kawat semua selesai maka dilakukan perangkaian antara gulungan kawat (kumparan) dengan hubungan rangkaian seri. Ujung – ujung kawat satu kumparan disolder dengan kumparan lain membentuk rangkaian kumparan seri. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengecoran kumparan yang telah disusun tadi menggunakan resin yang sebelumnya dilapisi oleh serat fiber untuk memperkuat keeping stator. Lama proses pengeringan dari resin membutuhkan waktu minimal 4 jam, kemudian didiamkan selama satu hari supaya resinnya benar – benar kering sehingga pada saat pelepasan dari cetakan tidak

mengalami kerusakan. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah

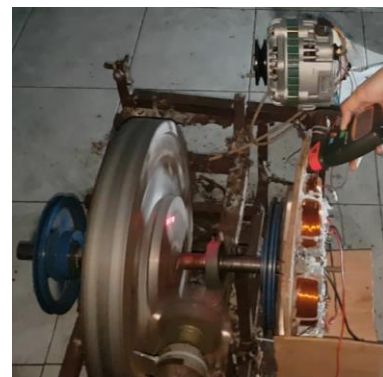


Gambar 8. Pembuatan 6 koil

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan sambungan antar kumparan dengan menggunakan AVometer dengan mengukur tahanannya untuk memeriksa apakah gulungan sudah tersambung dengan baik atau belum. Setelah hasil pengukuran tahanan didapatkan hasil yang baik (tahanan kecil) maka kumparan siap dikopel dengan *rotor*.

E. Pengujian Alternator

Pengujian ini bertujuan untuk melihat hasil keluaran dari *alternator* serta faktor apa saja yang dapat mempengaruhi keluaran dari *alternator*. *Alternator* diukur keluaran tegangannya menggunakan AVometer dan keluaran dari *alternator* juga diuji kemampuannya dalam pengisian ACCU. Dan pengujian kecepatan putaran *alternator* dilakukan dengan mengukur kecepatan putar *alternator* (RPM) menggunakan *tachometer* seperti pada Gambar 9. Dibawah.



Gambar 9. Pengukuran kecepatan menggunakan tachometer

F. Analisis Data

Data yang didapat dari hasil pengujian untuk kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Hasil pengukuran pada proses pengujian diantaranya berupa data tegangan keluaran *alternator*, arus dan kecepatan putar *alternator*. Perhitungan secara teoritis menggunakan parameter – parameter fisis *alternator* yang sudah diukur sebelumnya untuk kemudian dimasukkan pada rumus – rumus yang sesuai untuk menghasilkan perhitungan keluaran *alternator* berupa tegangan dan daya. Kemudian dilakukan analisis perbandingan antara hasil pengukuran dalam proses pengujian secara percobaan dengan hasil perhitungan secara teoritis untuk melihat selisih penyimpangannya. Kemudian dilakukan pula perhitungan efisiensi daya dengan

membandingkan hasil pengukuran daya output *alternator* dengan daya output dari motor penggerak.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisis Data

Data spesifikasi alat yang digunakan pada berdasarkan data yang sudah didapat penelitian studi yaitu:

Tabel 2.

Data Spesifikasi Alat yang dibuat

No	Keterangan	Ukuran
1	Jumlah lilitan	130
2	Panjang koil	5 cm
3	Diameter kawat	1,6 mm
4	Jari - jari lilitan dalam	5 cm
5	Jari - jari lilitan terluar	7 cm

Tabel 3.

Data Spesifikasi Motor Penggerak

No	Keterangan	Ukuran
1	Jari -jari	30 cm
2	Berat	35 N
3	RPM nominal	360
4	Arus	5A
5	Tegangan	12 V

B. Analisis Perbandingan Tegangan Alternator.

Tabel 4.

Hasil Perbandingan Tegangan Alternator dengan 3 koil

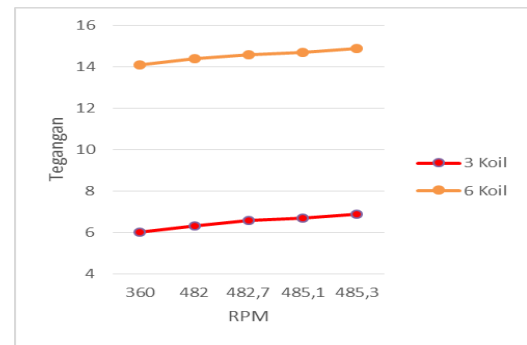
No	RPM	Tegangan Pengukuran (Vukur)	Tegangan teoritis (V teoritis)	Deviasi (%)
1	360	5,8	7,822	25,85
2	482	6	10,473	42,71
3	482,7	6,3	10,488	39,93
4	485,1	6,6	10,540	37,38
5	485,3	6,7	10,545	36,46
6	485,9	6,9	10,558	34,65

Tabel 5.

Hasil Perbandingan Tegangan Alternator dengan 6 koil

No	RPM	Tegangan Pengukuran (Vukur)	Tegangan teoritis (V teoritis)	Deviasi (%)
1	360	13,8	15,644	11,79
2	482	14,1	20,946	32,68
3	482,7	14,4	20,977	31,35
4	485,1	14,6	21,081	30,74
5	485,3	14,7	21,090	30,30
6	485,9	14,9	21,116	29,44

Perbedaan antara perhitungan dan pengukuran disebabkan adanya rugi – rugi daya sehingga hasil pengukuran lebih kecil dari perhitungan teoritis. Rugi – rugi daya yang hilang ini disebabkan karena panas atau ada yang hilang di fluks magnetik yang tidak semuanya diserap oleh koil atau tidak semua medan magnetiknya bisa dikonversi ke listrik. Setelah penjelasan diatas maka didapatkan hubungan RPM dengan V_{input} 6 koil dan hubungan RPM dengan V_{input} 3 koil.



Gambar 9. Grafik Hubungan RPM dengan Tegangan

Berdasarkan hasil yang diperoleh terlihat bahwa grafik antara kecepatan putar (RPM) dengan tegangan berbentuk linier. Dimana semakin besar kecepatan putar (RPM) maka nilai tegangan yang dihasilkan juga semakin besar. Tegangan AC yang dihasilkan kemudian disearahkan menjadi arus searah (DC) menggunakan dioda bridge. Dapat dilihat pula bahwa alternator dengan 6 koil mampu menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada alternator dengan 3 koil. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi RPM dan semakin banyak koil maka semakin tinggi pula tegangan alternator yang mampu dihasilkan.

C. Analisis Efisiensi pada alternator

Untuk mendapatkan efisiensi yang dihasilkan oleh motor adalah digunakan rumus (8) maka :

Tabel 6.

Hasil perhitungan Efisiensi motor untuk 3 koil

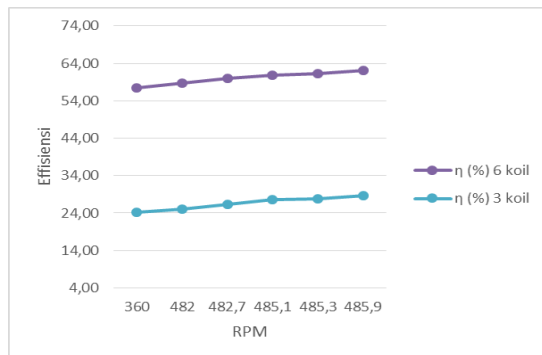
No	RPM	Daya Motor Penggerak (W)	Arus Alternator (A)	Tegangan Alternator (V)	Daya Alternator (W)	η (%)
1	360	60	2,5	5,8	14,5	24,167
2	482	60	2,5	6	15	25,000
3	482,7	60	2,5	6,3	15,75	26,250
4	485,1	60	2,5	6,6	16,5	27,500
5	485,3	60	2,5	6,7	16,75	27,917
6	485,9	60	2,5	6,9	17,25	28,750

Tabel 7.

Hasil perhitungan Efisiensi motor untuk 6 koil

No	RPM	Daya Motor penggerak (W)	Arus Alternator (A)	Tegangan Alternator (V)	Daya Alternator (W)	η (%)
1	360	60	2,5	13,8	34,5	57,500
2	482	60	2,5	14,1	35,25	58,750
3	482,7	60	2,5	14,4	36	60,000
4	485,1	60	2,5	14,6	36,5	60,833
5	485,3	60	2,5	14,7	36,75	61,250
6	485,9	60	2,5	14,9	37,25	62,083

Setelah didapatkan hasil perhitungan efisiensi diatas maka dapat digambarkan grafik sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik Hubungan RPM dengan Effisiensi.

Gambar 10. dapat dilihat bahwa semakin besar RPM maka efisiensi daya alternator semakin tinggi pula. Begitu juga alternator dengan 6 koil memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari alternator dengan 3 koil. Maka dapat disimpulkan untuk mempertinggi efisiensi alternator dengan cara mempertinggi RPM dan memperbanyak koil.

IV. KESIMPULAN / RINGKASAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pembuatan Alternator berbasis magnet permanen Neodymium sebanyak 12 buah pada rotor dan 6 buah pada solenoida. Dimensi rotor dan stator dengan diameter 0,35 meter. Dimensi dari magnet permanen adalah 0,05 meter x 0,05 meter sedangkan ukuran dari solenoida adalah lingkaran dengan jari – jari dalam 0,05 meter dan jari – jari luar 0,07 meter berisi 130 lilitan kawat imael berdiameter 1,6 milimeter dapat menghasilkan arus rata – rata sebesar 2,5 A dan tegangan rata – rata untuk 3 koil sebesar 5,8 V– 6,9 V sedangkan untuk 6 koil sebesar 13,8 V - 14,9 V.

2. Semakin besar RPM maka efisiensi *alternator* juga semakin besar sehingga daya output yang dihasilkan juga lebih besar.
3. Dengan *Alternator* dengan 6 koil memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari *alternator* dengan 3 koil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. . Stram, *Key Challenges to expanding renewable energy*. energy policy, 2016.
- [2] A. . Punchstein, A.F., Lioyd, T.C., Conrad, *Alternating Current Machines*. New York: John Willey and Sons Inc, 1960.
- [3] W. Masmoudi, A., Drazikowski, L., Koczara, “Permanent Magnet disk generator with coreless windings,” *Compel-Int J.COMPUT.Math.Electr. Electron. Eng*, pp. 108–118, 2011.
- [4] D. C. Giancoli, *Physics : principles with applications Sixth Edition*. United State of America: Pearson Education, 2005.
- [5] R. Tinjo, “Optimasi Jarak Celah Udara Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Aksial Rotor Cakram Ganda Dengan Stator Tanpa Inti,” Universitas Indonesia, 2010.
- [6] “<http://microblog.routed.net/wp-content/uploads/2008/10/pancakewheel.pdf>,” 2017. [Online]. Available: <http://microblog.routed.net/wp-content/uploads/2008/10/pancakewheel.pdf>.
- [7] H. Rudianto, “Penggunaan ICViper 22A Pada Catu Daya Model Penyaklaran Untuk Pemutar Cakram DVD,” Universitas Negeri Yogyakarta, 2015.
- [8] N. Riedel, *Electric Circuit Ninth Editions*. New Jersey: Prentice Hall, 2011.
- [9] A. Paulus, “Pengaruh Tekanan Kompaksi dan waktu Penahanan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Magnetik dan kekerasan pada pembuatan Iron Soft Magnetik dari Serbuk Besi,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2007.
- [10] K. Faza, “Analisa Variasi Hambatan dan Tengan Listrik pada Koil terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah,” Universitas Jember, 2013.
- [11] K. et Al, “Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Bounded NdFeB dengan Teknik Green Compact,” *J. Fis. dan Apl.*, vol. 9, pp. 9–11, 2013.
- [12] B. Prasetyo, H., Ropiudin, R., Dharmawan, “Generator Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Putaran Rendah,” *Ilm. Din. Rekayasa*, vol. 8, pp. 70–77, 2016.