

KONSTRUKSI ROTOR MAGNET PERMANEN FLUKS RADIAL UNTUK ALTERNATOR FASE TUNGGAL

Arief Goeritno¹, Alfian Hidayat²

¹Dosen Tetap Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. KH Sholeh Iskandar Km 2, Bogor, Kode Pos 16162

²Mahasiswa Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor, Jl. KH Sholeh Iskandar km 2, Bogor, Kode Pos 16162

E-mail: ariefgoe.uika@gmail.com
alfianhidayat14@gmail.com

ABSTRAK

KONSTRUKSI ROTOR MAGNET PERMANEN FLUKS RADIAL UNTUK ALTERNATOR FASE TUNGGAL.

Telah dibuat konstruksi rotor magnet permanen fluks radial untuk alternator fase-tunggal, melalui perolehan: 1) konstruksi rotor dengan magnet permanen fluks radial untuk alternator fase tunggal, 2) daya mekanis penggerak mula, 3) pengukuran kinerja alternator tanpa beban, dan 4) pengukuran kinerja alternator berbeban. Metode penelitian yang dilakukan pada tahapan pembuatan rotor, yaitu: (a) pembuatan pola rumah magnet, (b) pembuatan pola poros rotor, (c) pengukuran dimensi rotor, (d) pengerjaan rumah magnet dan poros rotor, dan (e) pemasangan magnet permanen pada rumah magnet. Langkah-langkah untuk perolehan daya mekanis penggerak mula, adalah: (a) rakitan rotor dan stator, dan (b) daya mekanis teoritis penggerak mula. Tahapan dalam pengukuran dan perhitungan kinerja alternator tanpa beban meliputi: (a) penggunaan penggerak mula, (b) koneksi penggerak mula ke poros rotor alternator, dan (c) nilai putaran poros, tegangan terminal, dan frekuensi alternator. Tahapan dalam pengukuran kinerja alternator berbeban meliputi: (a) pengukuran kinerja alternator berbeban tanpa pengontrolan putaran, dan (b) pengukuran kinerja alternator berbeban dengan pengontrolan putaran. Konstruksi rotor magnet permanen dilakukan dengan pembuatan pola rumah magnet pada rotor, agar dapat untuk penempatan jumlah maksimum magnet permanen yang berjumlah 12 (dua belas) dalam alur magnet. Hal itu didasarkan kepada keberadaan dimensi magnet permanen yang tersedia di pasaran. Ukuran alur tempat magnet, adalah 17 mm (lebar), 5 mm (tebal), dan 40 mm (panjang), sehingga diperoleh jarak antar setiap magnet 5,5 mm. Panjang rotor sesuai panjang inti stator (stator core). Panjang pola poros rotor sebesar 210 mm, terdiri atas tiga bentuk dengan dimensi berbeda. Diameter poros rotor dibuat dengan 3 ukuran yang berbeda, diantaranya 1 bagian dengan diameter 30 mm (panjang 60 mm) berfungsi sebagai dudukan rumah magnet, 2 bagian dengan diameter 20 mm (panjang 12 mm) berfungsi sebagai dudukan bearing, dan 2 bagian dengan diameter 19,4 mm (panjang 63 mm) berfungsi sebagai kopel ke penggerak mula dan dapat digunakan untuk tempat kipas jika diperlukan. Diameter rotor berdasarkan diameter dalam inti stator yang tersedia (87 mm), sedangkan panjang rotor mengacu pada panjang magnet permanen dan lebar inti stator. Diameter rotor harus lebih kecil dari diameter dalam stator dengan tujuan, agar diperoleh celah udara (air gap) antara inti rotor dan inti stator. Diameter inti rotor diperoleh sebesar 85 mm, sehingga diperoleh selisih 2 mm sebagai celah udara untuk dua sisi yang berseberangan. Pengukuran keliling rotor untuk penentuan letak magnet permanen dan ukuran alur-alur sebagai rumah magnet.

Kata-kata Kunci: konstruksi rotor magnet permanen fluks radial, alternator fase-tunggal, pengukuran kinerja.

1 PENDAHULUAN

Rotor merupakan elemen berputar pada generator. Kutub-kutub magnet pada rotor, dihasilkan dari kumparan medan yang disuplai (dipasok) arus searah, agar dihasilkan fluks melalui sebuah cincin[1,2]. Untuk pembangkitan arus searah dibutuhkan sebuah sistem *exiter*, yang dapat diperoleh dari pembangkitan tersendiri, kemudian disearahkan[2-5]. Untuk kondisi dimana rotor diputar[5], maka fluks magnet yang timbul akibat arus searah tersebut memotong konduktor-konduktor pada belitan stator yang berakibat timbul gaya gerak listrik (ggl).

Konstruksi rotor magnet permanen ini meliputi: (a) konstruksi rotor dengan magnet

permanen fluks radial untuk alternator fase tunggal, (b) daya mekanis penggerak mula, (c) pengukuran kinerja alternator tanpa beban, dan (d) pengukuran kinerja alternator berbeban. Rotor dengan magnet permanen merupakan bagian dari generator yang tersusun secara berselang-seling dengan kutub berbeda-beda dari sejumlah magnet mengikuti bentuk lingkaran. Keberadaan magnet permanen pada rotor generator berfungsi sebagai pengganti kumparan medan rotor, sehingga tidak diperlukan eksitasi tambahan[6].

Berdasarkan latar belakang telah dibuat konstruksi magnet permanen melalui perolehan tujuan penelitian ini, yaitu: (a) memperoleh konstruksi rotor magnet permanen fluks radial, (b) memperoleh daya mekanis

minimum penggerak mula, (c) memperoleh kinerja alternator tanpa beban, dan (d) memperoleh kinerja alternator berbeban.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

Generator listrik adalah sebuah alat untuk produksi daya listrik dari sumber daya mekanik, melalui penggunaan induksi elektromagnetik[4]. Generator arus bolak-balik (*alternating current, ac*) berfungsi sebagai pengubah daya mekanik menjadi daya listrik arus bolak-balik. Generator arus bolak-balik disebut juga sebagai alternator atau generator sinkron. Dikatakan generator sinkron, karena jumlah putaran rotor sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator.

Hubungan antara frekuensi dan kecepatan putaran poros rotor[2,14,3], dihitung dengan persamaan (2.1).

$$n = \frac{f \cdot 120}{p} \dots\dots\dots(2.1),$$

dengan: n = kecepatan putaran poros rotor, [*root per minute, rpm*]; f = frekuensi, [hertz]; dan p = jumlah kutub.

2.2 Generator Magnet Permanen Fluks Aksial dan Radial

Generator Magnet Permanen Fluks Aksial merupakan generator magnet permanen yang memiliki arah medan fluks sejajar dengan sumbu putar. Fluks tersebut merupakan hasil dari gaya tarik menarik antara dua buah magnet permanen yang memiliki kutub yang berbeda. Generator magnet permanen fluks radial merupakan generator permanen magnet yang memiliki arah fluks radial terhadap sumbu putar sehingga arah fluks searah dengan arah putaran rotor, hal ini dikarenakan fluks dihasilkan oleh magnet permanen yang letaknya melingkari permukaan rotor.

2.3 Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan untuk perolehan tujuan penelitian berupa pabrikasi konstruksi rotor dengan magnet permanen fluks radial untuk alternator fase-tunggal, perhitungan daya mekanis teoritis dari penggerak mula, pengukuran kinerja alternator tanpa beban, dan pengukuran kinerja alternator berbeban.

Pabrikasi konstruksi rotor dengan magnet permanen fluks radial untuk alternator fase-tunggal

Tahapan pembuatan rotor magnet permanen, yaitu (i) pola rumah magnet pada inti rotor, (ii) pola poros (as) rotor, (iii) dimensi rotor, (iv) penempatan poros dan rumah magnet pada inti rotor, dan (v) penempatan magnet permanen ke alur magnet.

Perhitungan daya mekanis teoritis dari penggerak mula

Tahapan perhitungan daya mekanis teoritis dari penggerak mula ini diawali dengan perakitan rotor dan stator, dilanjutkan ke perhitungan daya mekanis penggerak mula secara teoritis.

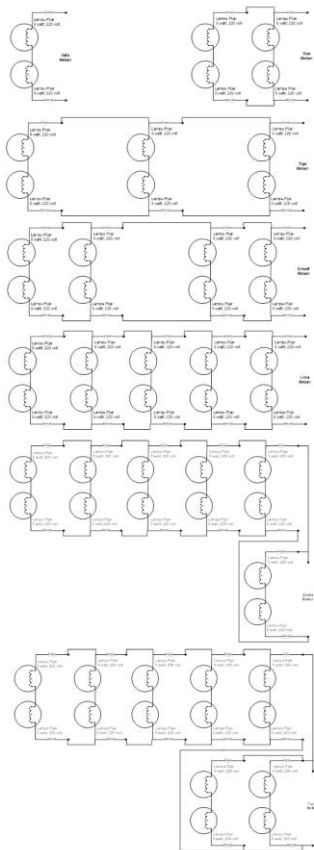
Pengukuran kinerja alternator tanpa beban

Pengukuran kinerja alternator tanpa beban berupa pengukuran tegangan keluaran alternator berdasarkan kecepatan putaran penggerak mula yang dilakukan melalui 1) penggunaan penggerak mula, 2) koneksi poros penggerak mula ke poros rotor alternator, dan 3) pengukuran nilai kecepatan putaran poros alternator, tegangan terminal alternator, dan frekuensi alternator, dan 4) persentase perbandingan tegangan keluaran antara hasil perhitungan dan pengukuran.

Pengukuran kinerja alternator berbeban

Pengukuran kinerja alternator berbeban, yaitu: 1) kinerja alternator berbeban tanpa pengontrolan kecepatan putaran poros alternator dan 2) kinerja alternator berbeban dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator.

Diagram skematis pemberian beban secara bertahap dan variasi bentuk beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram skematis pemberian beban secara bertahap dan variasi bentuk beban

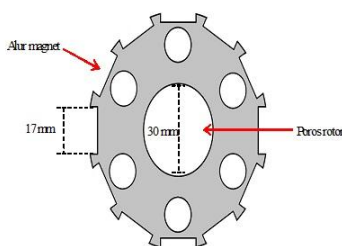
3 HASIL DAN BAHASAN

3.1 Konstruksi Rotor dengan Magnet Permanen Fluks Radial

Konstruksi rotor dari alternator fase-tunggal yang diberi magnet permanen fluks radial diperoleh melalui beberapa tahapan pengerjaan, mulai dari tahapan perancangan rotor sampai tahapan pabrikasi rotor.

1. Pola alur (rumah) magnet pada inti rotor

Penampang melintang pola alur magnet pada inti rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 2

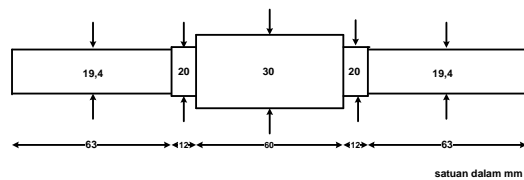


Gambar 2 Penampang melintang alur magnet pada inti rotor

Berdasarkan Gambar 2 ditunjukkan, bahwa pola alur magnet pada inti rotor dibuat untuk penempatan kondisi maksimum sejumlah magnet permanen fluks radial. Penentuan akhir diperoleh 12 (dua belas) alur magnet. Hal itu didasarkan kepada keberadaan dimensi magnet permanen fluks radial yang tersedia di pasaran. Dimensi alur magnet sebagai tempat fisik magnet permanen fluks radial, adalah 17 mm (lebar), 5 mm (tebal), dan 40 mm (panjang). Panjang inti rotor sesuai panjang inti stator (*stator core*).

2. Pola poros (as) rotor

Penampang bujur pola poros rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Penampang bujur pola poros rotor

Berdasarkan Gambar 3 ditunjukkan, bahwa panjang pola poros rotor sebesar 210 mm, terdiri atas tiga bentuk dengan dimensi berbeda. Diameter poros rotor dibuat dengan 3 ukuran yang berbeda, diantaranya 1 bagian dengan diameter 30 mm (panjang 60 mm) berfungsi sebagai dudukan rumah magnet, 2 bagian dengan diameter 20 mm (panjang 12 mm) berfungsi sebagai dudukan *bearing*, dan 2 bagian dengan diameter 19,4 mm (panjang 63 mm) berfungsi sebagai kopel ke penggerak mula dan dapat digunakan untuk tempat kipas, jika diperlukan.

3. Dimensi rotor

Penetapan dimensi untuk bahan-bahan dasar yang digunakan untuk rotor, diukur terlebih dahulu sebelum proses pengerjaan, agar semua komponen rotor simetris dan presisi pada saat proses perakitan. Urutan dalam pengerjaan, yaitu: (a) pengukuran diameter dan panjang aluminium sebagai bahan dasar inti rotor, (b) pengukuran keliling inti rotor untuk penentuan letak magnet permanen, dan (c) pengukuran diameter dan panjang poros rotor.

4. Penempatan poros dan alur magnet pada inti rotor

Penempatan poros rotor pada inti rotor dilakukan terlebih dahulu sebelum pembuatan alur magnet. Bentuk fisik poros dan rumah magnet pada inti rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Bentuk fisik poros dan alur magnet pada inti rotor

Berdasarkan Gambar 4 ditunjukkan, bahwa inti rotor yang telah digabung dengan poros rotor sebelum proses pembentukan alur magnet, kemudian dilakukan pabrikan alur magnet, dan diakhiri dengan pabrikan poros rotor. Poros rotor dibentuk dengan tiga ukuran diameter poros rotor yang berbeda-beda.

5. Penempatan magnet permanen ke rumah magnet

Magnet permanen yang digunakan merupakan jenis Neodymium. Jenis magnet Neodymium dipilih, karena dengan kerapatan fluks magnet cukup kuat, 2500 gauss atau 250 mT. Jumlah kutub magnet ditentukan sebanyak 12 kutub, terdiri atas 6 kutub utara dan 6 kutub selatan. Penempatan magnet permanen pada rumah magnet di inti poros rotor, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



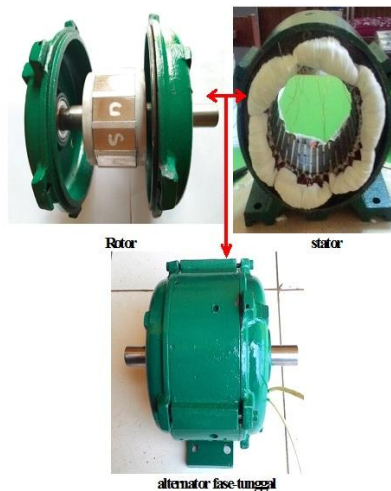
Gambar 5 Penempatan magnet permanen pada rumah magnet di inti poros rotor

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan, bahwa penempatan magnet permanen fluks radial dilakukan secara selang-seling dengan susunan kutub-kutub, yaitu U-S-U-S-U-S-U-S-U-S-U-S.

3.2 Daya Mekanis Minimum Teoritis Penggerak Mula

Rakitan rotor dan stator

Perakitan rotor dan stator, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Perakitan rotor dan stator

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, bahwa rotor dan stator dirakit menjadi satu kesatuan, agar menjadi sebuah alternator fase-tunggal.

3.3 Kinerja Alternator Tanpa Beba

Penggunaan penggerak mula

Bentuk fisik motor induksi fase-tiga, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

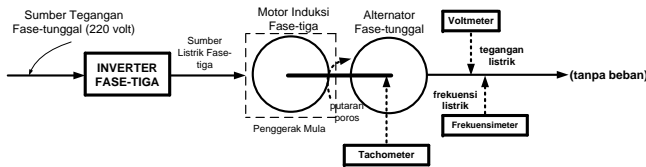


Gambar 7 Bentuk fisik motor induksi fase-tiga (3Φ)

Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, bahwa motor induksi fase-tiga yang digunakan, adalah merk Bologna Electric Motors. Spesifikasi motor tersebut sesuai papan nama (*name plate*), yaitu: belitan 3 fase, berdaya 0,5 HP/0,37 kW, berkutub empat, dan kecepatan putaran sebesar 1340 rpm, dan frekuensi 50 hertz.

Nilai kecepatan putaran poros, tegangan terminal, dan frekuensi alternator

Diagram skematis pengukuran kinerja alternator fase-tunggal tanpa beban, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram skematis pengukuran kinerja alternator fase-tunggal tanpa beban

Hasil pengukuran kinerja alternator fase-tunggal tanpa beban, berupa perolehan nilai tegangan terminal dan frekuensi alternator berdasarkan kecepatan putaran poros alternator yang divariasi. Nilai tegangan terminal dan frekuensi alternator berdasarkan kecepatan putaran poros alternator yang divariasi, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai tegangan terminal dan frekuensi alternator berdasarkan kecepatan putaran poros alternator yang divariasi

Kecapatan Putaran Poros (rpm)	Tegangan Terminal (volt)	Frekuensi (hertz)
100	34,4	11
200	69,8	20
302	104,2	30
401	139,2	40
502	170,7	50
601	204,4	60
702	239,8	70
802	275,2	80
904	310,2	90
1000	342,7	100
1103	378,3	110
1203	404	120
1302	457,3	130

Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan, bahwa kecepatan putaran poros rotor sebagai penentu nilai tegangan keluaran dan frekuensi alternator, semakin besar kecepatan putaran rotor alternator, semakin besar pula nilai tegangan keluaran dan frekuensi alternator yang dihasilkan.

Nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi

Nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi alternator, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 2 Nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi alternator

Kecapatan Putaran (rpm)	Frekuensi (hertz)	Nilai Pembagi
100	11	9,09
200	20	10,00
302	30	10,07
401	40	10,03
502	50	10,04
601	60	10,02
702	70	10,03
802	80	10,03
904	90	10,04
1000	100	10,00
1103	110	10,03
1203	120	10,03
1302	130	10,02
	Rata-rata	9,95

Berdasarkan Tabel 2 ditunjukkan, bahwa nilai pembagi hasil perhitungan untuk perubahan parameter kecepatan putaran poros rotor ke frekuensi pada nilai rata-rata sebesar 9,95.

Kinerja alternator berbeban tanpa pengontrolan putaran poros alternator

Perubahan nilai arus, tegangan, dan torsi akibat pemberian beban pada alternator, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perubahan nilai arus tegangan dan torsi akibat pemberian beban pada alternator

Putaran Awal (rpm)	Pemberian Beban (watt)	Kecapatan Putaran Poros Rotor (rpm)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Torsi (Nm)
500	1,5	478	Tidak Terdeteksi	158	0
500	3	449	0,02	146	0,0011
500	4,5	416	0,05	132,5	0,0025
500	6	378	0,07	117	0,0029
500	7,5	334	0,08	101,5	0,0031
500	9	294	0,09	87	0,0030
500	10,5	255	0,09	73	0,0025

Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan, bahwa semakin besar pemberian beban, semakin terjadi penurunan nilai kecepatan putaran poros rotor dan tegangan, tetapi terjadi kenaikan nilai arus sampai pemberian beban sebesar 10,5 watt, sedangkan nilai torsi terjadi perubahan yang bervariasi.

Kinerja alternator berbeban dengan pengontrolan kecepatan putaran poros alternator

Perubahan arus, tegangan dan torsi akibat pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perubahan nilai arus tegangan dan torsi akibat pemberian beban pada kecepatan putaran poros alternator kondisi konstan

Putaran Konstan (<i>rpm</i>)	Pemberian Beban (watt)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Torsi (Nm)
500	1,5	0,00	167,5	0
500	3	0,03	163	0,00187
500	4,5	0,06	159,5	0,00365
500	6	0,09	156,5	0,00538
500	7,5	0,12	153	0,00701
500	9	0,15	149,5	0,00828
500	10,5	0,18	146,5	0,00979

Berdasarkan Tabel 4 dtunjukkan, bahwa kenaikan pemberian beban, berakibat kepada peningkatan nilai arus yang diserap beban, penurunan nilai tegangan keluaran pada alternator kondisi konstan, dan terjadi peningkatan nilai torsi.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan pembahasan, maka disimpulkan sesuai tujuan penelitian:

- [1] Penetapan nilai frekuensi sebesar 50 hertz, dihasilkan putaran poros sebesar 500 *root per minute* (*rpm*) dan kecepatan sudut 2618,333 (radian/detik). Nilai massa rotor total 1,22 kg dan percepatan gravitasi 9,81 meter/detik², maka diperoleh nilai gaya 11,97 newton sepanjang lintasan 0,07 meter, sehingga torsi mekanis 0,84 (newton.meter) atau 0,133 (newton.meter/radian). Penghitungan nilai kecepatan sudut dikalikan torsi mekanis, diperoleh daya mekanis teoritis yang dibutuhkan dari penggerak mula 349,07 (newton.meter/detik) yang dibulatkan menjadi 350 watt.
- [2] Pengukuran kinerja alternator tanpa beban berupa perubahan tegangan mulai 34,4 volt (pada putaran 100 *rpm* dan frekuensi 11 hertz) sampai tegangan 457,3 volt (pada putaran 1302 *rpm* dan frekuensi 130 hertz). Tegangan keluaran alternator hasil pengukuran diperoleh sebesar 170,7 volt dengan frekuensi 50 hertz, sedangkan tegangan keluaran alternator hasil perhitungan diperoleh nilai sebesar 170,4 volt pada frekuensi 50 hertz, sehingga terdapat persentase perbedaan tegangan keluaran alternator sebesar 0,176%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonymous, *Construction of Alternator*, _____, _____, _____
<http://www.electrical4u.com/construction-of-alternator/> (diunduh 30 Januari 2016).
- [2] Anonymous, *Working Principle of Alternator*, _____, _____, _____

- [3] Eliezer, I Putu Giovanni, *Tentang Generator*, _____, _____, 2013
<http://www.geyosoft.com/2013/tentang-generator> (diunduh 02 September 2015).
- [4] Wikipedia, *Generator Listrik*, _____, _____, 2014
https://id.wikipedia.org/wiki/Generator_listrik (diunduh 15 September 2015).
- [5] PT Unggul Pawenang Sentosa, *Generator AC (Alternating Current)*, _____, _____, 2015
<http://www.upawengangs.co.id/?p=313> (diunduh 02 September 2015).
- [6] Strous, T.D., *Design of a Permanent Magnet Radial Flux Concentrated Coil Generator for a Range Extender Application* (MSc. Thesis Report), Delft University of Technology, Delft, _____
<http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uid:d03fdc90-bad0-457f-9d20-89d651289eb1/datastream/OBJ/download>
- [7] Aleksashkin, Anton, Aki Mikkola, *Literature Review on Permanent Magnet Generators Design and Dynamic Behavior* (Research Report 77, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology), Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta (Finland), 2008
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/43265/isbn9789522147097.pdf> (diunduh 30 Januari 2016).
- [8] Monet, Vincent, Oleg Lyan, *Research of Permanent Magnet Generator with Compensated Reactance Windings* (Final Thesis, Department of Electrical Engineering, Faculty of Marine Engineering), Klaipeda University, Klaipeda, 2013
<https://www.emworks.com/media/pdfs/testimonials/Bachelors-Thesis.pdf> (diunduh 30 Januari 2016).
- [9] *Stanford Magnets*, *Typical Structure and Working Principle of Permanent Magnet Alternator*, _____, _____, _____
<http://www.usneodymiummagnets.com/typical-structure-and-working-principle-of-permanent-magnet-alternator.html> (diunduh 30 Januari 2016).
- [10] Dvorak, Paul, *Design Ideas in Permanent Magnet Generators*, _____, _____, (December 2) 2013
<http://www.windpowerengineering.Com/Design/Electrical/Generators/Design-Ideas-Permanent-Magnet-Generators/> (diunduh 30 Januari 2016).

