

Optimasi Daya Keluaran *Permanent Magnet Shynchronous Generator* pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Nur Maslakhatun Nisa¹, Agung Trihasto², Ir. Deria Pravitasari³

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

nurmaslakhatunnisa@gmail.com¹, agungtrihasto@gmail.com², deria.pravitasari@untidar.ac.id³

ABSTRAK

Permanent magnet shynchronous generator (PMSG) digunakan untuk mengontrol putaran yang disebabkan oleh kecepatan bayu. Tujuan dari penelitian adalah mengoptimalkan daya keluaran yang dihasilkan oleh generator pembangkit listrik tenaga bayu. Metode *backpropagation* sistem jaringan syaraf tiruan sebagai metode untuk mengoptimalkan daya keluaran generator pembangkit listrik tenaga bayu. Berdasarkan hasil simulasi, algoritma *backpropagation* jaringan syaraf tiruan dapat menampilkan daya keluaran berdasarkan *variable* masukan berupa kecepatan bayu yang berubah-ubah. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa pelatihan terbaik dengan *learning rate* = 0.5, *galat/error* = 0.0001, *max.epoch* = 100000, *neuron hidden layer* = 5. Nilai MSE yang didapatkan adalah 0.1026 mencapai *goal* saat *epoch* 14845. *Training regrestion*/pelatihan urutan baliknya mencapai 0.99917. Hasil optimalisasi sudah mendekati galat yang ditentukan yaitu 0,0001 sedangkan yang didapatkan adalah 0,0145. Daya yang dihasilkan oleh kecepatan bayu 10,7m/s sebelum dioptimalkan menggunakan jaringan syaraf tiruan metode *backpropagation* sebesar 321watt sedangkan Hasil daya yang sudah dioptimalkan menggunakan jaringan syaraf tiruan metode *backpropagation* dengan kecepatan bayu sebesar 10,7m/s adalah 409 watt. Selisih rata-rata target daya yang didapatkan adalah 88watt disbanding daya JST nya.

Kata Kunci: pembangkit listrik tenaga bayu, daya optimal, *backpropagation*

ABSTRACT

Permanent magnet shynchronous generator (PMSG) is used to control the rotation caused by wind speed. The purpose of this research is to optimize the output power generated by wind power generators. The *backpropagation* method of neural network systems is a method for optimizing the output power of wind power generators. Based on the simulation results, the *backpropagation* algorithm of artificial neural networks can display the output power based on the input variable in the form of changing wind speed. The training results show that the best training with *learning rate* = 0.5, *error* = 0.0001, *max.epoch* = 100000, *hidden layer neurons* = 5. The MSE value obtained is 0.1026 reaching the goal at epoch 14845. *Training regrestion* / training reverse sequence reaches 0.99917. The optimization result is close to the specified error, which is 0.0001, while what is obtained is 0.0145. The power generated by the wind speed of 10.7 m / s before optimization using the *backpropagation* neural network method is 321 watts, while the optimized power results using the *backpropagation* neural network with a wind speed of 10.7 m / s is 409 watts. The difference in the average target power obtained is 88 watts compared to the ANN power.

Keywords: wind power generation, optimal power, *backpropagation*

I. PENDAHULUAN

Energi bayu merupakan energi yang mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Lebih cepat daripada industri lain di dunia, dan tingkat pertumbuhan tahunannya adalah hingga 20% - 30%. Industri energi bayu sangat penting untuk mempromosikan pembangunan ekonomi. kapasitas terbesar dari turbin bayu tunggal telah dimasukkan operasi telah mencapai 6 MW (Maegaard, 2009) [1].

Hasil pemantauan dan evaluasi data potensi bayu di Indonesia, potensi bayu bervariasi tergantung musim dan kondisi geografi dari daerah tersebut. Rata – rata kecepatan bayu di wilayah Indonesia berkisar 2,5 – 6 m/s dan tergolong pada kecepatan bayu rendah (Labib, et al., 2009). Daya yang dihasilkan pada beban seimbang di musim kemarau sebesar 1919 W dan pada

musim penghujan sebesar 1859 W. Sedangkan pada beban tak seimbang diperoleh daya sebesar 2207 W; 680W; 1062 W (Dedy, et al., 2014) [2].

Optimasi yang di fokuskan berdasarkan analisis turbin angin untuk meningkatkan efisiensi konversi tenaga bayu untuk mencapai titik daya maksimum. Perbedaan kecepatan akan membuat daya *output* yang berbeda dari generator bayu. Generator bayu berputar menghasilkan kecepatan maksimum, kecepatan tersebut untuk mencapai rasio kecepatan optimal dan menghasilkan daya *output* maksimum pada suatu pembangkit listrik tenaga bayu. Optimasi daya keluaran *permanent magnet shynchronous generator* pada pembangkit listrik tenaga bayu ini difokuskan untuk mencari titik daya optimum.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui daya keluaran yang dihasilkan pada *permanent magnet*

shynchronous generator terhadap pembangkit listrik tenaga bayu yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan bayu, menggunakan metode *backpropagation* fungsi pelatihan *training gradient descent*

(*traingd*) untuk merancang sistem optimasi daya keluaran pada pembangkit listrik tenaga bayu.

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini untuk menyampaikan informasi hasil penelitian mengenai optimasi daya optimal yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan bayu sehingga dijadikan pedoman untuk melakukan pengoperasian pembangkit listrik tenaga bayu sesuai dengan jenis generator kepada khalayak yang membutuhkan. Penelitian ini ditunjukkan kepada pengembang yang ingin mengembangkan PLTB di Indonesia dengan daya yang optimal menggunakan daya keluaran dari *permanent magnet shynchronous generator*.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, dapat diketahui masalah yang dihadapi adalah daya keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga bayu belum maksimal, sehingga dapat mempengaruhi pemenuhan kebutuhan listrik di masa mendatang. Pengaruh dari Pembangkit listrik tenaga bayu yaitu variasi kecepatan bayu yang dihasilkan berubah – ubah sehingga pada penelitian ini akan dilakukan optimasi daya keluaran dengan parameter kecepatan bayu menggunakan parameter generator *permanent magnet shynchronous generator (PMSG)*.

II. LANDASAN TEORI

Produksi energi berkontribusi terhadap lingkungan seperti polusi udara serta masalah lingkungan lainnya. Sumber energi terbarukan tidak dapat menyediakan produktivitas yang meningkat seperti sumber energi fosil. Sumber energi terbarukan bersih, dan ramah lingkungan.

Salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan listrik pada daerah terpencil tersebut adalah dengan memanfaatkan energi bayu saat sumber energi ini adalah sumber energi alternatif yang memiliki potensi cukup besar di Indonesia yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, untuk saat ini solusi yang paling memungkinkan untuk diterapkan di Indonesia adalah pembangkit listrik tenaga bayu.

Medan eksitasi dari *permanent magnet shynchronous generator (PMSG)* dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen. Generator sinkron magnet permanen berputar dengan 3-fase stator klasik yang seperti generator induksi pada umumnya. Magnet permanen bisa terpasang pada permukaan ataupun tertanam pada rotornya. *Permanent magnet shynchronous generator* digunakan untuk sistem pengkit listrik berskala kecil. Kelebihan menggunakan *permanent magnet shynchronous generator* adalah biaya yang rendah, kesederhanaan, ketahanan dan lebih mudah mengkopling grid, akan

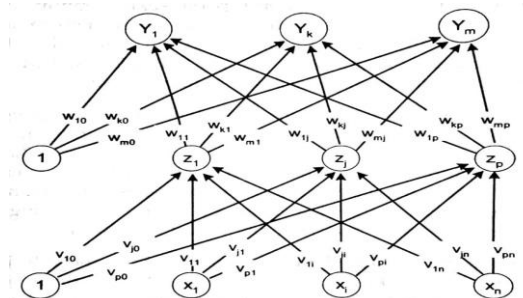
tetapi kelemahan utamanya adalah perlunya kompensator faktor daya dan efisiensi yang lebih rendah (Sthepen, 2005) [3].

Optimasi suatu upaya sistematis untuk memilih elemen yang terbaik dari suatu kumpulan elemen yang ada. Optimasi juga bisa dinyatakan sebagai suatu usaha sistematis untuk mencari nilai minimum atau maksimum dari suatu fungsi dengan kata lain, optimasi merupakan proses mencari nilai terbaik berdasarkan fungsi tujuan dengan daerah asal yang telah di definisikan. Optimasi dapat dinyatakan dengan $\min/\max f(x)$. Sebagai contoh, dengan mengambil fungsi kuadrat $f(x) = x^2$. Dimana x anggota bilangan real ($x \in R$). Di dalam contoh ini, $f(x) = x^2$ merupakan fungsi tujuannya, sedangkan x adalah daerah asal yang didefinisikan sebagai anggota bilangan real (Purnomo, 2014) [4].

Jaringan Syaraf Tiruan suatu sistem untuk memproses informasi yang didesain untuk meniru cara kerja otak manusia, sehingga dapat menyelesaikan masalah dengan cara melakukan proses belajar melalui kegiatan dengan berbasis data masa lalu, data masa lalu akan dipelajari oleh jaringan syaraf tiruan sehingga mempunyai kemampuan untuk memberikan keputusan terhadap data yang belum pernah dipelajari (Hermawan, 2006) [5].

Backpropagation merupakan metode penurunan *gradient* untuk meminimalkan kuadrat *error* keluaran. *Backpropagation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan pola yang dipakai selama pelatihan (Malvin, et al., 2015) [6].

Backpropagation atau *feedforward network* merupakan jaringan yang terdiri dari banyak lapisan (*multilayer neural network*). Jaringan propagasi balik setiap lapisan input terhubung dengan setiap lapisan tersembunyi (*hidden layer*) begitu juga dengan lapisan tersembunyi terhubung dengan lapisan *output*.



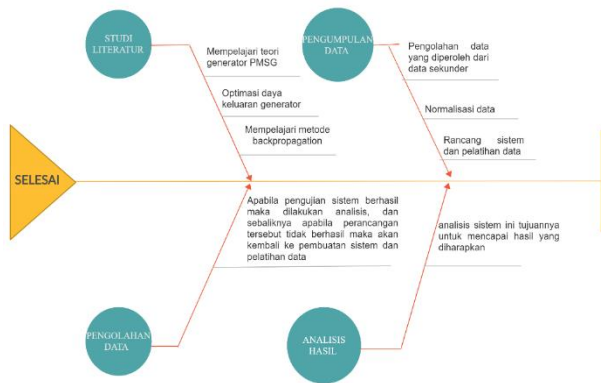
Gambar 1. Arsitektur jaringan *backpropagation*
Sumber : (Munir, 2018)

Pada Gambar 1 unit masukan (*input*) x_i memiliki bobot garis yaitu v_{ji} yang menghubungkan unit masukan x_i dengan unit z_j dan unit bias selalu bernilai 1 memiliki bobot garis yaitu v_{j0} yang menghubungkan unit bias dengan unit z_j . Unit layer tersembunyi z_j memiliki bobot garis yaitu w_{kj} yang menghubungkan unit layer tersembunyi z_j dengan unit keluaran (*output*)

Y_k dan unit bias memiliki bobot garis w_{k0} yang menghubungkan unit bias dengan unit keluaran Y_k .

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini Berlokasi di Universitas Tidar Magelang. Dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir, dilakukan beberapa alur tahapan yang harus dilakukan ditunjukkan oleh Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Diagram *fishbone* penelitian

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas maka dibawah ini akan diberikan penjelasan mengenai tahap penelitian penulis, antara lain:

1. Studi literatur

Tahap pertama ini merupakan tahapan mempelajari teori yang berkaitan dengan topik penelitian tentang pembangkit listrik tenaga bayu, generator jenis *permanent magnet shynchronous generator*, optimasi daya, dan teori metode *backpropagation* jaringan syaraf tiruan. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari hal - hal terkait dengan referensi atau teori yang bersumber dari buku, jurnal, dan sumber lain yang berkaitan dengan topik penelitian.

2. Pengumpulan data

Data didapatkan dari data sekunder yang diperoleh dari penelitian – penelitian sebelumnya serta jurnal – jurnal Nasional maupun jurnal – jurnal Internasional untuk menunjang simulasi program. Selanjutnya data diolah dengan beberapa cara, yaitu:

- normalisasi data, pada model jaringan saraf tiruan menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid* yang memiliki skala antara nilai 0 dan 1;
- rancang sistem dan pelatihan data, bertujuan untuk membuat sistem yang dapat mengimplementasikan jaringan syaraf tiruan metode *backpropagation* untuk optimasi daya keluaran pada generator. Pada tahap ini dilakukan dengan membuat perancangan meliputi alat bahan, metode, pelatihan data dan program yang akan digunakan pada saat penelitian.

3. Pengolahan data

Membuat sistem dan menguji sistem tersebut. Apabila pengujian berhasil maka akan dilakukan tahap selanjutnya yaitu analisis dan sebaliknya apabila perancangan tersebut tidak berhasil maka akan kembali ke tahap pembuatan sistem dan pelatihan data untuk mengetahui hal apa yang membuat sistem tidak berjalan dengan baik.

4. Analisis

Proses penguraian konsep ke dalam bagian-bagian yang lebih sederhana, sehingga struktur logisnya menjadi jelas. Analisis sistem ini tujuannya untuk mencapai hasil yang diharapkan. Maksudnya adalah dari perancangan yang sudah dibuat dapat berjalan dengan baik atau tidak. Dari mulai *input* data sampai dengan hasil yang dicapai. Hal ini dilakukan untuk mengetahui jaringan syaraf tiruan metode *backpropagation* mempunyai tingkat keberhasilan yang tinggi dalam optimasi daya keluaran pada pembangkit listrik tenaga bayu;

5. Kesimpulan.

Diharapkan sistem tersebut dapat berjalan sesuai dengan perancangan yang sudah direncanakan. Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dalam penelitian. Laporan yang disusun menjadi bukti tertulis dari penelitian yang telah dilakukan.

IV. PEMBAHASAN

Data model *permanent magnet shynchronous generator* milik PT. Lentera Bumi Nusantara digunakan sebagai acuan pada skripsi ini untuk menghitung daya keluaran yang dihasilkan oleh *permanent magnet shynchronous generator*. Penyelesaian masalah optimasi daya keluaran *permanent magnet shynchronous generator* pada pembangkit listrik tenaga bayu menggunakan metode *backpropagation* jaringan syaraf tiruan. Tabel 1. Data kecepatan angin dan daya pada generator.

Denormalisasi		Normalisasi	
kec angin	P(W)	kec angin	P(W)
1	5	0.100	0.097
2	8	0.128	0.101
3.5	10.50	0.169	0.107
4	12.7	0.183	0.111
5	47	0.210	0.180
2.2	10.2	0.133	0.106
7	124	0.266	0.332
8	220	0.293	0.522
3.4	10.46	0.166	0.107
10	393	0.348	0.864
3.6	10.78	0.172	0.107
10.7	396	0.368	0.870
2.7	30.42	0.147	0.146
4.1	99	0.186	0.282
9	357	0.321	0.793
9.5	260	0.334	0.601
2.1	6.80	0.130	0.100
3	22	0.155	0.129
4.5	89	0.197	0.262
6	119	0.238	0.322
5.5	94	0.224	0.272
8.5	357.6	0.307	0.794
10.2	409	0.354	0.896
7.2	140	0.271	0.363
10.4	394	0.359	0.866
9.8	373	0.343	0.825
6.8	118	0.260	0.320
7.6	198	0.282	0.478
8.3	350	0.301	0.779
4.7	102	0.202	0.288

Tabel 1. Data kecepatan angin dan daya pada generator

Perhitungan manual pada tahap pelatihan (*training*) terdiri dari 3 fase yaitu fase 1 propagasi maju, fase 2 propagasi mundur dan fase 3 perubahan bobot pada *backpropagation* adalah sebagai inisialisasi nilai bobot awal bias awal dengan bilangan acak yang kecil *range* antara 0 sampai 1. Bobot awal pada *input* ke *hidden layer* dapat ditunjukkan pada:

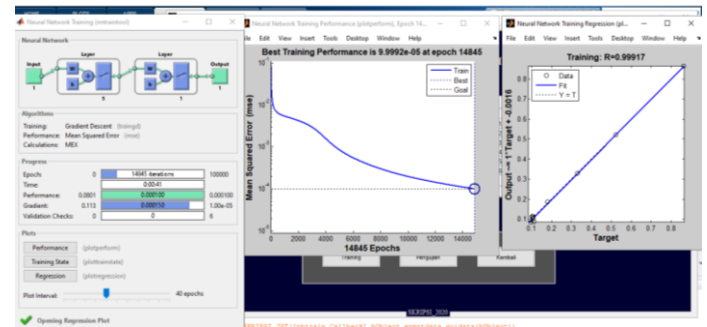
$$V1 = 0.2 \dots\dots\dots (4.1)$$

$$W1 = 0.1 \dots\dots\dots (4.2)$$

$$W0 = 0.2 \dots\dots\dots (4.3)$$

Persamaan 4.1. $V1 = 0.2$. Bobot awal *hidden layer* ke output layer dapat ditunjukkan pada persamaan 4.2. $W1 = 0.1$. Kebutuhan pada tahap pelatihan menetapkan maksimum *epoch*, target *error*, dan *learning rate*. Penentuan *learning rate*, maks *epoch* dan galat/*error* pada penelitian ini mengacu pada penelitian oleh para peneliti terdahulu yang memiliki akurasi yang tinggi.

Pelatihan *learning rate 0.5 hidden layer 5* dan perbandingan data 10:20 dapat ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Pelatihan *learning rate 0.5 hidden layer 5* dan perbandingan data 10:20

Pelatihan dengan menggunakan *Learning Rate* = 0.5 Galat/*Error* = 0.0001 Max.*Epoch* = 100000 *Neuron Hidden Layer* = 15. Hasil pelatihan menghasilkan kinerja pelatihan terbaik dengan MSE sebesar 0.1014 ketika mencapai *goal* saat *epoch* 100000. Pelatihan mencapai *epoch* maksimalnya sehingga nilai MSE yang diharapkan belum tercapai. Grafik *training regrestion* JST dengan *Learning Rate* = 0.5 Galat/*Error* = 0.0001 Max.*Epoch* = 100000 *Neuron Hidden Layer* = 5 menghasilkan garis fit (pencocokan) dengan garis titik-titik (target) mencapai garis terbaiknya (*best*). *Training regrestion*/pelatihan urutan baliknya mencapai 0.99917. Pada grafik terlihat lingkaran-lingkaran (data latih) yang berada tidak jauh dari garis yang ditargetkan yang berarti menghasilkan pelatihan yang bagus.

Tahap pengujian pada model JST dilakukan dengan memberikan pola data baru yang belum pernah digunakan pada proses pelatihan. Data untuk pengujian sudah dipisahkan sejak awal. Pengujian *backpropagation* yang pertama kali dilakukan pada penelitian ini merupakan pengujian terhadap parameter *backpropagation* dengan *learning rate 0.5*. Maksimum *epoch* 100000. Nilai galat/*error* 0.0001. Jumlah *neuron hidden layer* 5, 10, dan 15. Pembagian data pertama (data latih 20 dan data uji 10), kedua (data latih 15 dan data uji 15) dan ketiga (data latih 20 dan data uji 10). Optimasi model menggunakan MSE dimana nilai *error* merupakan data *real* dikurangi data prediksi yang dikuadratkan dari data normalisasi, kemudian dijumlahkan dan dibagi banyaknya data uji. Berikut hasil pengujian *backpropagation* jaringan syaraf tiruan :

Hasil pengujian pada *learning rate 0.5*, *neuron hidden layer 10* perbandingan data latih 10 dan data uji 20 dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian pada *learning rate* 0.5, *neuron hidden layer* 10 perbandingan data latih 10 dan data uji 20

Normalisasi		Error ²	Denormalisasi		selisih
Target daya JST (Y)	Daya keluaran		Target daya JST	Daya keluaran	
0.2699	0.27228	0.0000	73	94	19
0.6806	0.79426	0.0129	239	357.6	3
0.8649	0.89604	0.0010	314	409	2
0.3502	0.36337	0.0002	106	140	25
0.8686	0.86634	0.0000	315	394	9
0.8407	0.82475	0.0003	304	373	20
0.3256	0.31980	0.0000	96	118	18
0.446	0.47822	0.0010	144	198	5
0.5983	0.77921	0.0327	206	350	13
0.2312	0.28812	0.0032	58	102	25
MSE		0.0051	Selisih		9

Hasil dari ketiga kombinasi perbandingan data pengujian JST *backpropagation* yang telah dilakukan, pengujian terbaik adalah pengujian ke tujuh dengan menggunakan *learning rate* 0.5 *neuron hidden layer* 5 perbandingan data latih = 10 dan data uji = 20. Hasil optimasi mendekati dengan galat yang ditentukan yaitu 0,0001. Selisih rata-rata target daya adalah 10 dibanding target JST-nya. Pengujian dengan *neuron hidden layer* 5 adalah pengujian terbaik karena diperoleh galat yang terkecil dan target JST yang sangat mendekati aslinya, yang artinya jaringan telah menemukan nilai optimal untuk pengujian sistem berdasarkan pelatihan yang telah dilakukan. Terbukti bahwa jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dapat digunakan untuk optimasi daya pada pembangkit listrik tenaga bayu.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode *backpropagation* fungsi pelatihan *training gradient descent (traingd)* yang digunakan pada penelitian ini, dapat menampilkan daya keluaran berdasarkan variabel masukan berupa kecepatan bayu yang berubah ubah. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa pelatihan terbaik dengan *learning rate* = 0.5, galat/error = 0.0001, *max.epoch* = 100000, *neuron hidden layer* = 5. Nilai MSE yang didapatkan adalah 0.1026 mencapai *goal* saat *epoch* 14845. *Training regrestion*/pelatihan urutanbaliknya mencapai 0.99917.

Hasil pengujian terbaik adalah dengan menggunakan *learning rate* 0.5, *neuron hidden layer* 15, perbandingan data latih = 10 dan data uji = 20. Hasil optimalisasi sudah mendekati galat yang ditentukan yaitu 0,0001 sedangkan yang didapatkan adalah 0,0145. Daya yang dihasilkan oleh kecepatan bayu 10,7m/s sebelum dioptimalkan menggunakan jaringan syaraf tiruan metode *backpropagation* sebesar 321watt

sedangkan Hasil daya yang sudah dioptimalkan menggunakan jaringan syaraf tiruan metode *backpropagation* dengan kecepatan bayu sebesar 10,7m/s adalah 409 watt. Selisih rata-rata target daya yang didapatkan adalah 88watt disbanding daya JST nya.

REFERENSI

- Dedy, K. S., Hardianto, T. & Novitasari, 2014. Output Power Optimization of wind power plant system using permanent magnet synchronous generator based neural network.
- Hermawan, A., 2006. *Jaringan Syaraf Tiruan, Teori, dan Aplikasi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Maegaard, P., 2009. Wind Energy Development and Application Prospects. *IEEE World Wind Energy Institute, World Renewable Energy Committee, Nordic Folkecenter for Renewable Energy*, pp. 4244-4702.
- Malvin, c., Sovia, R. & Permana, R., 2015. Memprediksi Indeks Harga Saham Indofood Sukses. 2(1), pp. 47-61.
- Munir, M. S., 2018. *Prediksi Beban Generator menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Sthepen, J. C., 2005. *Electric Machinery fundamentals*. United States of America: The McGraw Hill Companies.