

## SIMULASI EFISIENSI MOTOR LISTRIK AXIAL BLDC DENGAN BAHAN SOFT MAGNETIK VARIASI KOMPAKSI DAN PERLAKUAN PANAS MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ANSYS MAXWELL

Rino Herwangga<sup>1</sup>, Muh Nizam<sup>1</sup>, Miftahul Anwar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

e-mail address : [Rino.herwangga@yahoo.com](mailto:Rino.herwangga@yahoo.com)

### Keywords :

*Soft Magnetic Composite, VSM, Ansys Maxwell, Rmxprt, Efficiency of electric motor.*

### Abstrak :

*The research was conducted to determine the efficiency of electric motors with soft magnetic composite and laminate by used software Ansys Maxwell. Soft magnetic composite material which was given 4, 5, and 6 tons of compaction pressure from previous research performed to fill the input data on electric motor efficiency simulation. The used datas were hysteresis curve which are resulted of VSM (Vibrating Sample Magnetometer) testing. Ansys Maxwell Rmxprt was used to simulate efficiency of electric motor. The results of Ansys Maxwell Rmxprt simulation were a relation curve between the efficiency and the rotation of the electric motor. The results simulation of efficiency electric motor using soft magnetic composite core furthermore compared to the efficiency value of electric motor using laminate core. The results showed that the efficiency value of electric motor with soft magnetic composite with compacting pressure 4, 5 and 6 tons was 89,94 %, 89,97 %, and 90,62 % respectively. Efficiency value of electric motor with core laminate material was 91,22 %. The simulation showed that the value of a compaction pressure given on soft magnetic composite material affect on the efficiency of electrical motor. As a conclusion of this research that the efficiency value of electric motor trend increase with the value of compacting pressure on the material.*

### PENDAHULUAN

Dalam perkembangan zaman saat ini pemanfaatan magnet sangat banyak, salah satunya pada motor. Dalam suatu rangkaian motor terdapat dua fungsi magnet, yaitu pada permanent magnet dan *soft magnetic*. *Permanent magnet* adalah magnet yang sifat kemagnetannya tetap (terjadi dalam waktu yang relatif lama). Magnet ini berupa jenis besi yang disebut Lodstone. Sifat atom magnet tetap tidak sama dengan sifat atom magnet tidak tetap. Pada bahan magnet, garis edar elektron pada atom yang satu dan lainnya membentuk formasi yang sejajar dan selalu tetap. Sedangkan pada bahan yang bukan magnet, arah garis edar elektron pada setiap atom tidak teratur. Dan *soft magnet* adalah suatu bahan yang hanya dapat menghasilkan medan magnet yang bersifat sementara. Menghasilkan magnet dengan cara dialiri listrik atau dengan digosok-gosokkan dengan magnet alam. Agar medan magnet yang dihasilkan cukup kuat, kumparan diisi dengan besi atau bahan sejenis besi dan sistem ini disebut *electromagnet*.

*Soft magnet* merupakan pilihan yang tepat untuk penggunaan pada arus bolak-balik atau frekuensi tinggi, karena *soft magnet* bisa mengalami magnetisasi dan dapat di demagnetisasi berulang kali selama selang satu detik. Pada umumnya *soft magnet* terbuat dari bahan utama serbuk Fe. Kemurnian Fe sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat kemagnetan seperti koersivitas dan permeabilitas. Semakin tinggi kemurnian Fe akan berpengaruh pada permeabilitasnya yang juga semakin tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja *soft magnetic* dengan bahan serbuk besi dari Fe murni dengan metode metalurgi serbuk dengan mempertimbangkan polaritas, permeabilitas, rugi-rugi dan menekan biaya produksi. Penelitian ini dilakukan dengan perlakuan *annealing*. Setelah itu hasilnya dilihat struktur mikronya dan juga uji sifat magnetiknya.

Dalam penelitian komponen *soft magnetic* pada motor listrik, percobaan yang terbaik adalah langsung pada sistem nyata, tetapi dalam suatu masalah yang cukup rumit, hal ini memerlukan

tenaga, biaya besar dan waktu yang relatif lama jika eksperimen dicoba secara real. Oleh karena itu simulasi dibutuhkan untuk mempermudah suatu penelitian dan untuk mengurangi resiko kegagalan pada penelitian itu sendiri. Simulasi merupakan suatu teknik meniru operasi-operasi atau proses-proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat komputer. Dengan melakukan simulasi ini dalam waktu singkat dapat menentukan parameter yang tepat serta dengan biaya yang tidak terlalu besar karena semuanya cukup dilakukan dengan komputer. Salah satu perangkat lunak yang bisa mensimulasikan *soft magnetic* pada motor listrik adalah *Ansys Maxwell*. Dengan menggunakan perangkat lunak *Ansys Maxwell* kita dapat mengetahui hasil efisiensi pada motor listrik. *Ansys Maxwell* memang khusus untuk menganalisa suatu motor listrik, aktuator, transformer, dan lilitan. Sehingga kita bisa mengetahui dan menganalisa bahan *soft magnetic* terhadap efisiensi motor listrik.

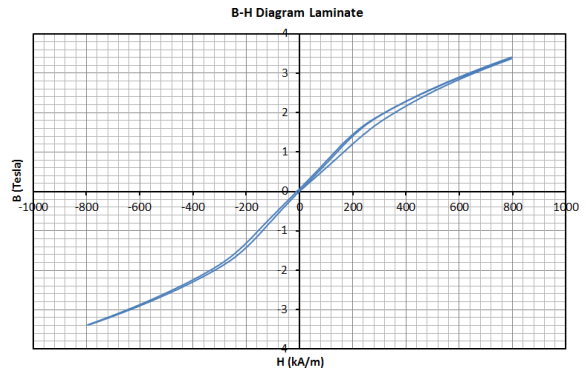
**METODOLOGI PENELITIAN**

Pada penelitian ini dilakukan proses simulasi untuk mengetahui efisiensi motor listrik Axial BLDC dengan menggunakan perangkat lunak *Ansys Maxwell*. Penelitian ini dilakukan pada bagian *soft magnetic* dengan bahan *laminare* dan variasi kompaksi 4, 5, 6 ton yang telah diberikan perlakuan annealing dengan suhu 600°C. Bahan magnetik lunak dibuat menggunakan serbuk besi dan *epoxy* pengikat. Rasio serbuk besi dan *epoxy* adalah 5% volume *epoxy*. Data pada proses simulasi *Ansys Maxwell* didapat dari pengujian VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) dengan pembacaan dari kurva histerisis.

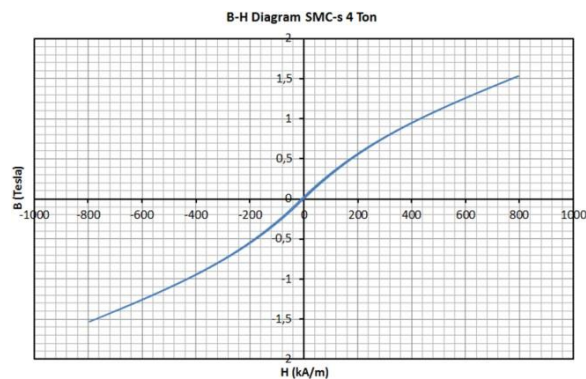
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengujian VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*)**

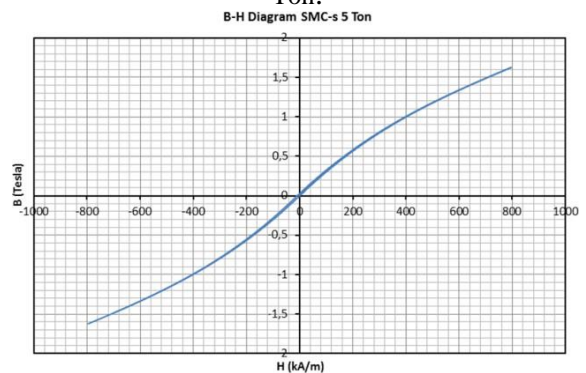
Pengujian VSM dilakukan di Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju – BATAN. Pengujian dilakukan pada empat sampel bahan diantaranya: bahan *laminare*, bahan serbuk besi dengan kompaksi 4, 5 dan 6 ton. Untuk menentukan magnet tergolong pada jenis *soft-magnetic* atau *hard-magnetic* dapat dilihat dari besarnya nilai koersivitas. Koersivitas atau gaya koersivitas yaitu medan gaya yang diperlukan untuk menghilangkan induksi remanen setelah melalui proses induksi elektromagnetik. Berikut ini adalah kurva histerisis bahan hasil pengujian VSM.



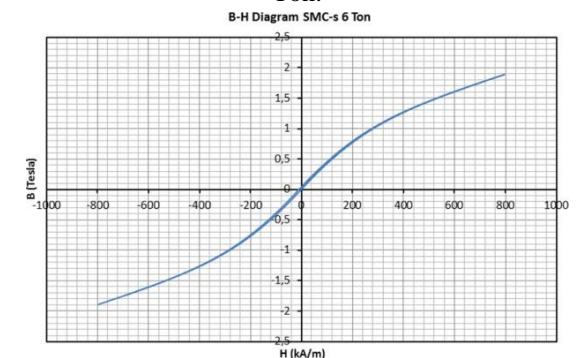
Gambar 1. Kurva Histerisis Uji VSM Spesimen *Laminare*



Gambar 2. Kurva Histerisis Uji VSM Spesimen *Soft-Magnetic Composite* dengan Tekanan Kompaksi 4 Ton.



Gambar 3. Kurva Histerisis Uji VSM Spesimen *Soft-Magnetic Composite* dengan Tekanan Kompaksi 5 Ton.



Gambar 4. Kurva Histerisis Uji VSM Spesimen *Soft-Magnetic Composite* dengan Tekanan Kompaksi 6 Ton.

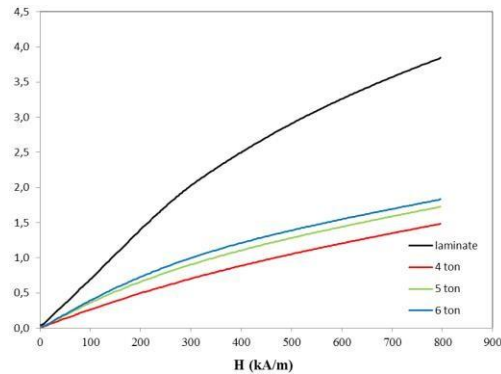
Untuk bahan yang memiliki koersivitas yang besar ( $H_c > 1$  kA/m) disebut *hard-magnetic*, sedangkan untuk bahan yang memiliki koersivitas kecil ( $H_c < 1$  kA/m) disebut *soft-magnetic*. Kurva histerisis hasil pengujian VSM yang diperoleh dari spesimen *laminare*, 4, 5, 6 ton tergolong pada *soft-magnetic* material. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 1. dengan kurva histerisis yang cenderung kurus dan nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) lebih kecil dari 1 kA/m yaitu sebesar  $H_c = -2,70$  kA/m. Sedangkan untuk besarnya nilai induksi saturasi ( $B_s$ ) adalah 3,41 Tesla dan induksi remanen ( $B_r$ ) nilainya 0,068 Tesla. Spesimen *laminare* memiliki nilai permeabilitas sebesar 4,09 Wb/Am.

Pada gambar 2. yaitu spesimen 4 ton memiliki nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) lebih kecil dari 1 kA/m yaitu sebesar  $-4,56$  kA/m. Sedangkan untuk besarnya nilai induksi saturasi ( $B_s$ ) adalah 1,53 Tesla, induksi remanen ( $B_r$ ) dari spesimen *soft-magnetic composite* dengan tekanan kompaksi 4 ton sebesar 0,026 Tesla. Spesimen ini memiliki nilai permeabilitas sebesar 1,81 Wb/Am.

Pada gambar 3. yaitu spesimen 5 ton memiliki nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) lebih kecil dari 1 kA/m yaitu sebesar  $-6,25$  kA/m. Oleh karena itu kurva histeresis spesimen *soft magnetic composite* dengan tekanan kompaksi 5 ton terlihat kurus. Sedangkan untuk besarnya nilai induksi saturasi ( $B_s$ ) adalah 1,62 Tesla dan induksi remanen ( $B_r$ ) dari spesimen *soft-magnetic composite* dengan tekanan kompaksi 5 ton sebesar 0,029 Tesla. Spesimen *soft magnetic composite* dengan tekanan kompaksi 5 ton ini memiliki nilai permeabilitas sebesar 1,91 Wb/Am.

Pada gambar 4. nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) lebih kecil dari 1 kA/m yaitu sebesar  $-6,28$  kA/m. Oleh karena itu kurva histeresis spesimen *soft magnetic composite* dengan tekanan kompaksi 6 ton terlihat kurus. Sedangkan untuk besarnya nilai induksi saturasi ( $B_s$ ) adalah 1,89 Tesla dan induksi remanen ( $B_r$ ) dari spesimen *soft-magnetic composite* dengan tekanan kompaksi 6 ton sebesar 0,041 Tesla. Spesimen ini memiliki nilai permeabilitas sebesar 2,37 Wb/Am. Nilai permeabilitas didapatkan dari rumus Permeabilitas magnetik ( $\mu_r$ ) = Permeabilitas bahan ( $\mu$ ) / Permeabilitas udara ( $\mu_0$ ). Dapat dilihat bahwa setiap penambahan nilai kompaksi pada spesimen *soft magnetic composite* dapat meningkatkan nilai induksi magnetik ( $B$ ). Hal ini disebabkan oleh semakin tinggi gaya tekan atau kompaksi yang diberikan pada serbuk maka ikatan butiran partikel bahan menjadi semakin kuat

sehingga jarak antar partikel menjadi semakin rapat atau semakin kecil. Seiring dengan semakin rapatnya jarak antar partikel maka kandungan resin yang terdapat dalam spesimen semakin berkurang. Sehingga spesimen mudah untuk menerima induksi.

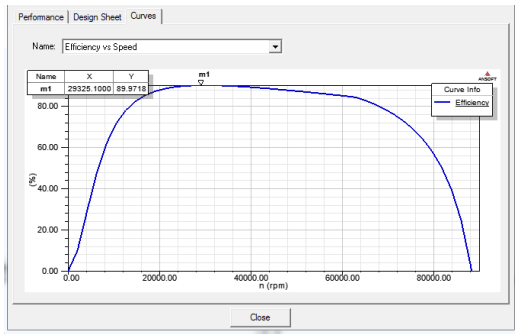


Gambar 5. Grafik hubungan antara B dan H pada spesimen *laminare*, spesimen *soft magnetic composite* dengan nilai tekanan kompaksi 4 ton, spesimen *soft magnetic composite* dengan nilai tekanan kompaksi 5 ton, spesimen *soft magnetic composite* dengan nilai tekanan kompaksi 6 ton.

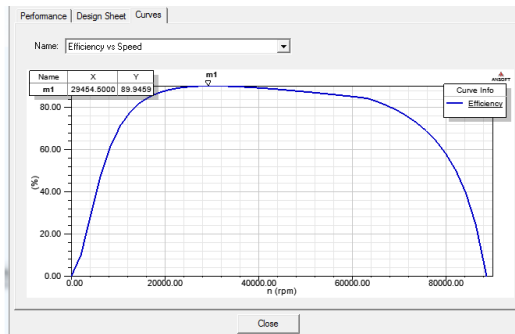
Pada Gambar 5. di atas, dapat dilihat bahwa induksi magnetik ( $B$ ) spesimen *laminare* nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan nilai induksi magnetik spesimen *soft magnetic composite*. Menurut Levebre (1997) kandungan resin yang terdapat pada spesimen *soft magnetic composite* dapat menghambat proses induksi magnet. Resin dapat menghambat induksi magnet karena resin termasuk ke dalam bahan insulator. Insulator adalah materi yang dapat mencegah penghantaran muatan listrik. Oleh sebab itu nilai induksi magnetik bahan *laminare* lebih tinggi dibandingkan induksi magnet bahan *soft magnetic composite* karena bahan *laminare* tidak memiliki kandungan resin.

#### Analisa Efisiensi Motor Listrik

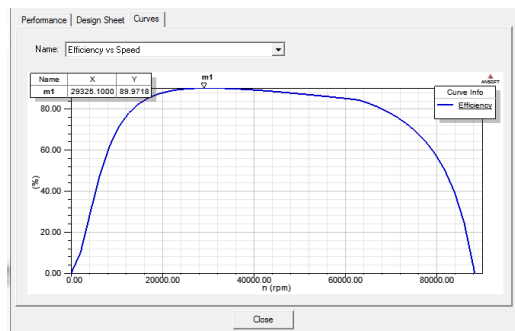
Pada penelitian ini dianalisa pengaruh *soft magnetic composite* terhadap efisiensi motor listrik. Analisa efisiensi motor listrik didapatkan dari simulasi *Ansys Maxwell* dengan mengubah propertis bahan dari material yang ada pada simulasi dan menggantinya dengan bahan *soft magnetic composite*. Data yang didapatkan dari pengujian VSM berupa data  $B$  dan  $H$ .  $B$  adalah induksi magnetik yang dihasilkan.  $H$  adalah medan magnetik yang diperlukan untuk menginduksi  $B$ . Data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam simulasi *Ansys Maxwell*.



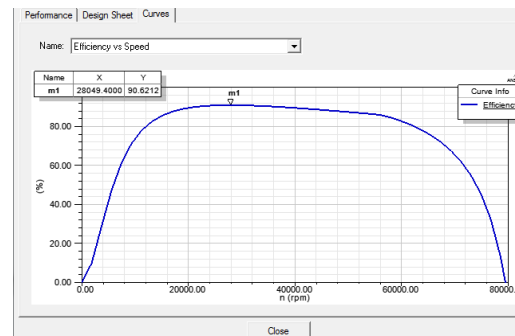
Gambar 6. Simulasi bahan *laminate*



Gambar 7. Simulasi bahan *soft magnetic* kompaksi 4 ton



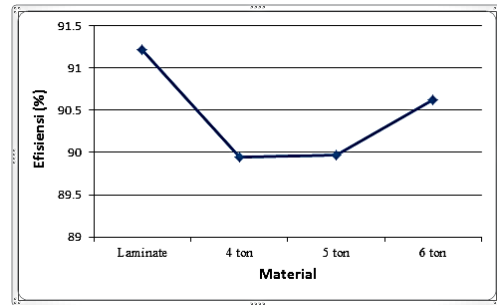
Gambar 8. Simulasi bahan *soft magnetic* kompaksi 5 ton



Gambar 9. Simulasi bahan *soft magnetic* kompaksi 6 ton

Berdasarkan Gambar diatas hasil dari simulasi elektromagnetik didapatkan efisiensi motor listrik dengan tren yang meningkat setiap penambahan kompaksi pada material *soft magnetic composite*. Semakin besar nilai tekanan kompaksi pada spesimen *soft magnetic composite* maka nilai efisiensi motor listrik akan meningkat. Spesimen *soft*

*magnetic composite* dengan kompaksi 4, 5, 6 ton memiliki efisiensi motor listrik sebesar 89,94 %, 89,97 %, dan 90,62 %. Sedangkan untuk efisiensi motor listrik bahan *laminate* sebesar 91,22 %.



Gambar 10. Grafik pengaruh tekanan kompaksi terhadap nilai efisiensi motor listrik

Dari gambar 10. dapat dilihat spesimen dengan tekanan kompaksi 6 ton nilai efisiensinya mendekati spesimen *laminate*. Dengan tren yang terlihat terus meningkat, nilai efisiensi motor listrik bahan *soft magnetic composite* bisa lebih baik dari bahan *laminate* apabila nilai tekanan kompaksi lebih dari 6 ton. Hanya saja karena cetakan yang digunakan tidak mampu menerima beban kompaksi lebih dari 6 ton. Menurut [3], meningkatnya efisiensi seiring dengan penambahan tekanan kompaksi pada tiap bahan *soft magnetic composite* disebabkan oleh semakin kecilnya kerugian arus eddy pada tiap spesimen. Rugi arus eddy adalah rugi yang disebabkan oleh terjadinya arus pusar yang arahnya berputar-putar didalam inti lilitan. Spesimen *laminate* memiliki arus pusar yang relatif besar. Oleh karena itu untuk meminimalkan arus pusar yang dihasilkan, spesimen dibuat dari bahan serbuk yang bertujuan untuk memecah induksi arus eddy.

Berkurangnya kerugian arus eddy pada setiap spesimen *soft magnetic composite* menyebabkan *core loss* pada motor listrik menjadi berkurang.

Tabel 1. *Core loss* pada motor listrik.

No.	Material	Core Loss (W)
1	<i>Laminate</i>	3,3092
2	Kompaksi 4 ton	3,3089
3	Kompaksi 5 ton	3,3086
4	Kompaksi 6 ton	3,3045

*Core loss* adalah rugi-rugi yang terdapat pada inti lilitan motor listrik. *Core loss* pada motor listrik berkurang seiring dengan meningkatnya nilai tekanan kompaksi pada spesimen. Efisiensi motor listrik akan meningkat seiring berkurangnya *core loss*. Sehingga dapat disimpulkan dengan

berkurangnya kerugian akibat arus eddy maka *core loss* pada motor listrik akan berkurang dan menyebabkan nilai efisiensi motor listrik akan meningkat. menunjukkan bahwa semakin bertambah tekanan kompaksi pada spesimen *soft magnetic composite*, maka *core loss* pada motor listrik semakin menurun.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai pengaruh proses pembuatan *soft magnetic composite* dengan tekanan kompaksi sebesar 4, 5 dan 6 ton terhadap efisiensi motor listrik dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh *soft magnetic* dari serbuk besi terhadap efisiensi motor listrik dapat disimulasikan dengan perangkat lunak *Ansys Maxwell*.
2. Hasil simulasi bahan serbuk besi dengan variasi tekanan kompaksi sebesar 4, 5 dan 6 ton efisiensinya cenderung meningkat berturut-turut sebesar 89,94 %, 89,97 %, dan 90,62 %. Hal ini didukung dengan berkurangnya nilai *core loss* dan meningkatnya nilai permeabilitas bahan.
3. Hasil dari penelitian dan simulasi yang dilakukan dengan bahan serbuk besi variasi tekanan kompaksi sebesar 4, 5 dan 6 ton efisiensinya masih dibawah bahan laminate. Hal ini dikarenakan kandungan resin yang terdapat pada material dapat menghambat proses induksi magnetik.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Afza dan Erini, "Pembuatan Magnet Permanen Ba-Heksaferit (  $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Dengan Metode Koopresipitasi dan Karakteristiknya. (Studi Kasus di Lembaga Ilmu Penelitian Indonesia, Jakarta)." *Skripsi Program Sarjana S-1 Sumatera Utara*, Medan, 2011.

[2] Asyer dan Paulus. *Pengaruh Tekanan Kompaksi dan Waktu Penahanan Temperatur Sintering Terhadap Sifat Magnetik dan Kekerasan Pada Pembuatan Iron Soft Magnetic Dari Serbuk Besi*. Surabaya : Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, 2007.

[3] Yicheng Chen, "Axial-flux PM Wind Generator with A Soft Magnetic Composite Core," *IEEE Department of Electrical & Computer Engineering, Clarkson University*, New York, 2005.

[4] Dharmawan, "Pengendalian Motor Brushless DC dengan Metode PWM Sinusoidal Menggunakan Atmega16," *Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia*. 2009.

[5] Ilhan Tarimer, "Investigation of the Effects of Rotor Pole Geometry and Permanent Magnet to Line Start Permanent Magnet

Synchronous Motor's Efficiency," *ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING* ISSN 1392 – 1215, vol. 90, no. 2, 2009

[6] Giancoli, "Book Physics: Principles with Applications, 6th edition," *Pearson Prentice Hall United States*, 2006.

[7] L. P. Levevre, S. Pelletier, dan C. Gelinas, "Effect of electrical resistivity on core losses in soft magnetic iron powder materials," *J. of Magnetism and Magnetic Mater.*, vol. 176, pp. L93 L96, 1997.

[8] Jung. Tae-Uk, "Low Cost Design Study of Brushless DC Motor for Electric Water Pump Application," *J. Electro Eng. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 942-949, 2014.

[9] T. Takegami, K. Tsuboi, M. Hasegawa, I. Hirotsuka, and M. Nakamura., "Calculation method for asynchronous starting characteristics of line-start permanent magnet synchronous motor," *International Conference on Electrical Machines and Systems*, pp. 1137-1142, 2010.

[10] Wu. Yi-Chang "Magnetic field analysis of a coaxial magnetic gear mechanism by two-dimensional equivalent magnetic circuit network method and finite-element method," *journal*, [Online] Tersedia: [www.elsevier.com/locate/apm](http://www.elsevier.com/locate/apm).

[11] William D. Callister. "Materials Science and Engineering and Introduction", Eighth edition - John Wiley & Sons, Inc., 1994.

[12] Huang. Yunkai, "Design and Analysis of a High-Speed Claw Pole Motor with Soft Magnetic Composite Core," *IEEE*, Beijing, China, 2007.