

ANALISA PEMODELAN GENERATOR MAGNET PERMANEN TIGA PHASA DENGAN SUSUNAN MAGNET ROTOR MENGIKUTI IPM – V

REZI HIDAYAT^{1*}, FAHMI ALFIANSYAH², AFIF FADILA³, ANDI SYOFIAN⁴,
ANGGUN ANUGRAH⁵, PERDANA PUTERA⁶

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang¹²³⁴⁵

Departement Of Electrical And Electronic Engineering, University Of Nottingham, England
Portland Building, University Of Nottingham Students' Union, University Park, Nottingham⁶

Email: rezi.hidayat25@gmail.com¹

Abstract: This article is a study analysis for converting an automotive alternator with a maximum output of 24 volts 100 A, into a three-phase permanent magnet generator by replacing the alternator rotor with a permanent magnet rotor. The arrangement of the magnets is similar to the arrangement of an Interior Permanent Magnet (IPM) rotor in a 12-pole V model. Analysis is carried out using COMSOL Multiphysics® software, modeling permanent magnet generators adapting the shape of the alternator and the shape and number of coils on the alternator stator are maintained (not changed). Finite Element Method simulation results using N52 Neodymium Magnets on the rotor, the output voltage amplitude is 4.5 volts with an AC frequency of 50 Hz (at a speed of 500 rpm). The AC waveform of the modified generator output is not purely sinusoidal.

Keywords : Generator, Permanent Magnets, Finite Element Method, Neodymium

Abstrak: Artikel ini merupakan analisa studi untuk pengubahan alternator otomatis dengan output maksimum 24 volt 100 A, menjadi generator magnet permanen tiga fasa dengan cara mengganti rotor alternator tersebut menjadi rotor magnet permanen. Dengan susunan magnet-magnetnya mirip dengan susunan rotor Interior Magnet Permanen (IPM) dalam model huruf V sebanyak 12 kutub. Analisa dilakukan dengan menggunakan *software COMSOL Multiphysics®*, pemodelan generator magnet permanen mengadaptasi bentuk alternator serta bentuk dan jumlah kumparan pada stator alternator yang dipertahankan (tidak di rubah). Hasil simulasi *Finite Element Method* menggunakan Magnet Neodymium N52 pada rotornya, di dapat amplitudo tegangan keluarannya sebesar 4,5 volt dengan frekuensi AC nya 50 Hz (pada kecepatan 500 rpm). Adapun bentuk gelombang AC dari keluaran generator hasil modifikasi ini tidak murni sinusoidal.

Kata kunci: Generator, Magnet Permanen, *Finite Element Method*, Neodymium

A. Pendahuluan

Generator magnet permanen merupakan generator magnet permanen yang menghasilkan listrik dari perubahan fluks magnetik pada stator yang dipengaruhi perputaran rotor (Vehicles, 2022). Kinerja generator magnet permanen dipengaruhi dari beberapa faktor seperti desain stator dan rotor, serta material yang digunakan pada pembuatan generator magnet permanen (Boldea, 2017)(Desain dkk, 2021).

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman tentang generator magnet permanen itu sendiri. Beberapa harapan yang dapat diinginkan dalam penelitian mengenai generator magnet permanen termasuk peningkatan efisiensi, optimasi desain, dan kondisi yang optimal dalam pengoperasian generator magnet permanen (Andika & Hamzah, 2018)(Motor dkk, 2019).

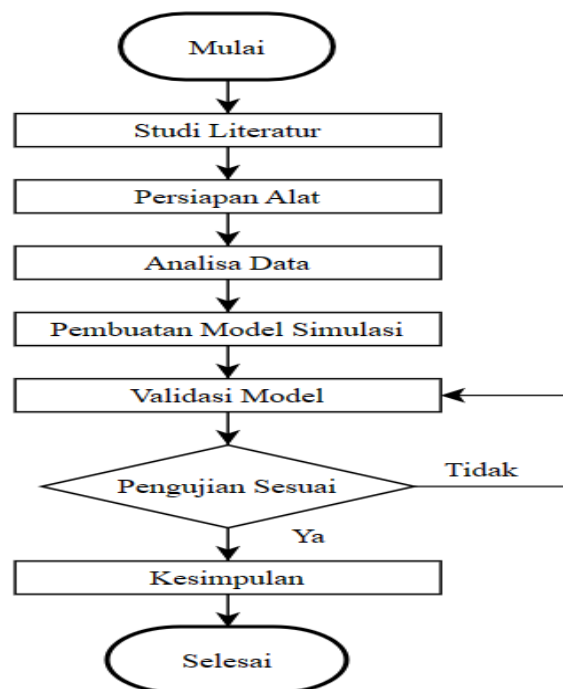
Adapun masalah yang timbul bagaimana membuat generator sinkron memiliki kelebihan yang dimiliki oleh generator asinkron. Yaitu generator sinkron ini dapat beroperasi tanpa menggunakan sikat karbon (*carbon brush*). Sehingga generator sinkron ini tidak perlu di berikan arus eksitasi (sehingga lebih hemat daya), dan tentu saja tidak lagi menggunakan sikat arang (*brushless*), yang menjadikannya generator sinkron ini nantinya lebih hemat dan minim perawatan (Ramana dkk, 2022). Dimana pada penelitian ini membuat generator yang memiliki frekuensi dan tegangan yang stabil dan memiliki efisiensi yang tinggi tanpa harus memerlukan sinkronisasi dan tidak memerlukan sumber daya eksternal (Boldea, 2017).

Adapun metode yang dipakai untuk mendapatkan generator magnet permanen tersebut, penulis mencoba menerapkan desain susunan magnet-magnet permanen dengan konfigurasi huruf V vertikal, yang kutub-kutubnya akan silih berganti dari utara ke selatan secara beriringan (ada 12 kutub magnet pada rotornya). Susunan ini akan penulis validasi dengan menggunakan *software Finite Element Method (FEM)*(Ramadhan dan Tamam, 2021)(Zaputra dan Gusnita, 2022)(Saputra dan Aini, 2021)(Manishe dkk, 2021). Untuk meninjau sebaran dan kerapatan fluks-fluks magnet permanen dari rotor ke stator, selain itu juga untuk meninjau prediksi bentuk gelombang tegangan dari keluaran generator tersebut pada frekuensi 50 Hz (Andika dan Hamzah, 2018).

Adapun urgensi dari penelitian ini adalah sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di program sarjana teknik elektro Institut Teknologi Padang. Selain itu juga untuk melihat apakah desain susunan magnet-magnet permanen yang ditempatkan di rotor mengikuti desain motor permanen magnet (Liu dkk, 2022)(Liang dkk, 2016) apakah dapat menghasilkan keluaran generator seperti yang diharapkan.

B. Metodologi Penelitian

Jenis penelitian ini berbasis pengujian menggunakan aplikasi. Pemodelan dan simulasi dilakukan menjadi ilustrasi identifikasi sistem atau indera yang sesungguhnya. Proses ini untuk mempermudah peneliti memodifikasi dan memprediksi sistem agar tidak mengakibatkan resiko kerusakan, hal ini dikarenakan lebih mudah dan ekonomis (Takahashi dkk, 2018). Nilai yg dihasilkan pemodelan dan simulasi diharapkan bisa mendekati yang akan terjadi sesungguhnya dengan langkah yang di uraikan pada Gambar 1.



Gambar 5. *Flowchart penelitian*

Tahap Penyelidikan Bagaimana Bentuk Fluks-Fluks Magnetik Dari Susunan Magnet-Magnet Permanen Pada Rotor. Tahap penyelidikan mengenai bentuk fluks magnetik dari susunan magnet permanen pada rotor generator menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)* merupakan pendekatan yang canggih dan efektif dalam pemodelan sistem elektromagnetik. Dengan menerapkan (FEM), para peneliti dapat menghasilkan simulasi yang sangat akurat terkait distribusi fluks magnetik di sepanjang rotor.

Tahap Penyelidikan Bagaimana Bentuk Fluks-Fluks Magnetik Dari Susunan Magnet-Magnet Permanen Pada Rotor Mempengaruhi Inti Besi Pada Stator (Pakai Coil). Tahap penyelidikan mengenai bagaimana bentuk fluks magnetik dari susunan magnet permanen pada rotor generator mempengaruhi inti besi pada stator dengan menggunakan *Finite Element*

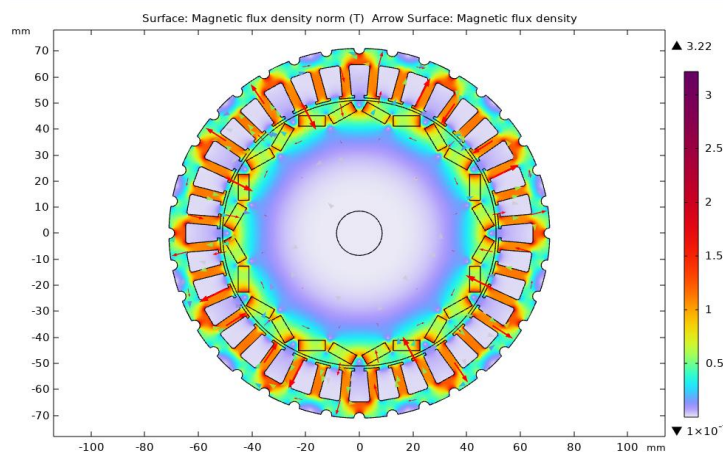
Method (FEM), merupakan pendekatan holistik yang memungkinkan pemodelan interaksi kompleks antara rotor dan stator. Dengan menerapkan (FEM) pada struktur generator, peneliti dapat memperoleh pemahaman mendalam tentang bagaimana fluks magnetik yang dihasilkan oleh rotor dengan susunan magnet permanen berinteraksi dengan inti besi pada stator yang dilengkapi dengan coil. (FEM) memungkinkan simulasi yang akurat terkait distribusi fluks magnetik di sepanjang inti besi dan coil stator, memungkinkan analisis terhadap pengaruh perubahan pada susunan magnet permanen rotor terhadap respons sistem keseluruhan. Hasil dari penelitian ini dapat memberikan wawasan krusial untuk optimisasi desain rotor dan stator, memastikan bahwa interaksi antara magnet permanen dan coil stator menghasilkan efisiensi energi yang optimal dalam generator.

Investigasi Pergerakan Aliran Fluks Medan Magnet Di Inti Stator Saat Rotor Magnet Permanent Berputar. Investigasi pergerakan aliran fluks medan magnet di inti stator saat rotor magnet permanen berputar menjadi fokus penting dalam pengembangan generator. Ketika rotor dengan magnet permanen bergerak, perubahan posisi magnet menyebabkan variasi dalam medan magnet yang menciptakan aliran fluks di sepanjang inti stator. Pada tahap ini, metode simulasi seperti *Finite Element Method* (FEM) digunakan untuk memodelkan dengan rinci interaksi ini. Algoritma matematis memungkinkan pemodelan perubahan fluks magnetik seiring pergerakan rotor, menghasilkan visualisasi yang menggambarkan perubahan distribusi fluks di inti stator. Investigasi ini tidak hanya melibatkan analisis bagaimana fluks magnetik berubah, tetapi juga bagaimana perubahan tersebut berpengaruh pada coil di stator, menghasilkan arus listrik yang mendrive output generator. Hasil dari investigasi ini memberikan pemahaman yang dalam terhadap dinamika aliran fluks, memungkinkan optimisasi desain sistem yang mencapai efisiensi tinggi dalam mengubah energi mekanis menjadi energi listrik.

C. Hasil dan Pembahasan

Investigasi Pengaruh letak dan Susunan Magnet Permanent Tanpa Coil.

Tujuan dari hasil simulasi ini adalah, untuk melihat kutub utara dan kutub selatan dari magnet permanen dengan konfigurasi magnet huruf V vertikal pada rotor yang dibuat menjadi 12 kutub, serta melihat fluks-fluks medan magnet ke stator core (inti besi stator) yang dapat dilihat dari gambar di bawah ini.

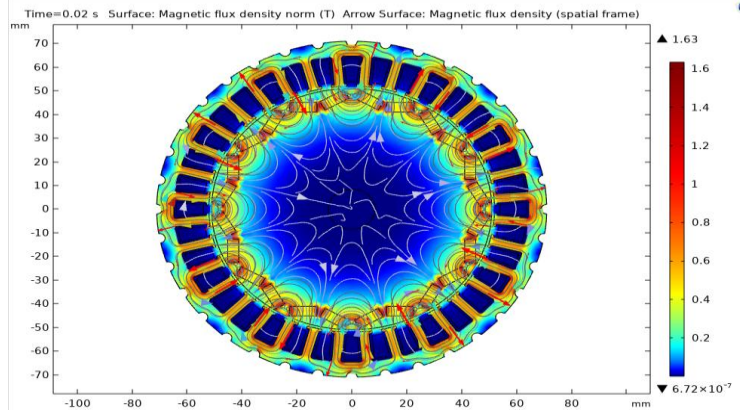


Gambar 2. Kekuatan flux magnet permanen dari susunan magnet IPM - V vertikal

Kuat medan magnet dan arah fluks magnet pada simulasi ini bisa kita lihat dari gambar di atas. Pada simulasi kali ini menggunakan magnet permanen jenis Neodymium dengan kekuatan magnet berkisar 20.000 – 25.000 Gaus atau setara dengan 2 – 2,5 Tesla. Terlihat jelas arah fluks magnet pada rotor masuk melewati sela-sela coil yang dimana fluks magnet dari kutub utara menuju kutub selatan. Begitu juga sebaliknya, dari kutub selatan menuju kutub utara. Hal ini bisa diketahui dari warna fluks magnet dan arah panah dari fluks magnet yang telah di plot pada simulasi. Selain itu, kuat medan magnet dan sebaran fluks-fluks magnet pada stator dapat kita lihat dari gambar tersebut.

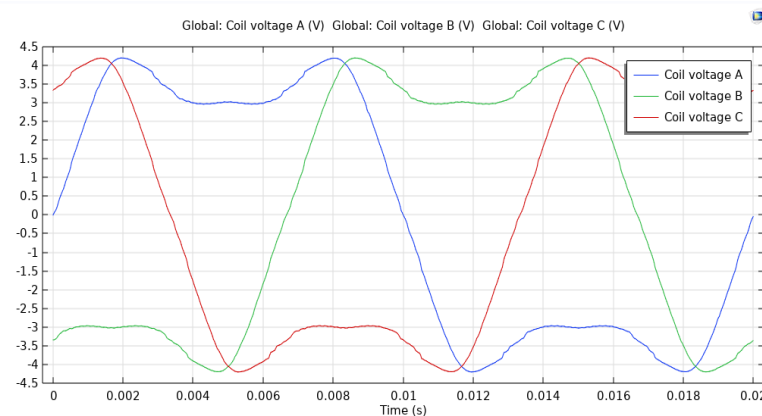
Investigasi Bentuk Fluks – Fluks Magnetic Dari Susunan Magnet Magnet Permanent Pada Rotor Mempengaruhi Inti Besi Pada Stator (Ada Coil)

Pada simulasi ini kita bisa melihat pengaruh fluks-fluks medan magnet ketika coil terpasang pada inti besi stator, dari konfigurasi magnet yang vertikal. Hal ini bisa kita lihat hasil gambar simulasi di bawah ini.



Gambar 3. Penyebaran fluks magnet tipe IPM - V Shape 12 kutub 36 slot vertikal

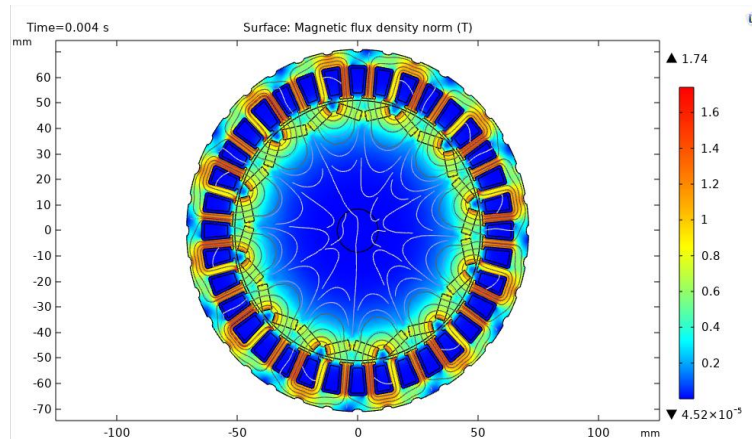
Dapat dilihat dari gambar di atas, bentuk fluks-fluks medan magnet pada rotor dipengaruhi inti besi stator, kuat medan magnet pada stator perlahan melemah ketika jarak antara stator dan rotor semakin menjauh. Pada simulasi dengan model magnet tipe IPM - V vertikal memiliki pendistribusian fluks magnet yang merata, dimana distribusi fluks magnet dari rotor menuju stator melewati semua sela sela slot pada stator. Pendistribusian fluks magnet dapat dipengaruhi dari bentuk kutub pada magnet yang kita buat, oleh karena itu penyebaran fluks-fluks magnetnya merata dan memiliki karakteristik yang lebih optimal. Dari simulasi tersebut didapatkan hasil amplitudo tegangan keluarannya sebesar 4,5 volt dengan frekuensi 50 Hz (pada kecepatan 500 rpm). Dengan gelombang sinusoidal tapi tidak murni, seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4. Hasil keluaran tegangan generator magnet permanen

Investigasi Pergerakan Aliran Fluks Medan Magnet Diinti Stator Saat Rotor Magnet Permanen Berputar.

Setelah hasil simulasinya telah keluar berupa tegangan dan fluks concatenated dengan gelombang sinusoidal tidak murni, fenomena rotor di putar berotasi pada porosnya dapat juga kita lihat pada hasil simulasi di animation. Kita bisa melihat perubahan dan perpindahan fluks magnet pada stator seiring berputarnya rotor. Hal ini dapat kita lihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Gambar setelah rotor diputar

Investigasi pergerakan aliran fluks medan magnet di inti stator saat rotor magnet permanen berputar adalah aspek kunci dalam pemahaman operasi generator. Saat rotor berputar, perubahan posisi magnet permanen mempengaruhi medan magnet yang diterima oleh inti stator. Fenomena ini menciptakan pergerakan dinamis dari fluks magnetik di sepanjang inti stator. Melalui metode simulasi seperti *Finite Element Method* (FEM) atau metode numerik lainnya, peneliti dapat memodelkan secara rinci perubahan distribusi fluks magnetik sepanjang inti stator seiring dengan rotasi rotor. Hasil investigasi ini memberikan wawasan mendalam tentang bagaimana aliran fluks magnetik berubah selama putaran rotor dan bagaimana hal tersebut memengaruhi pembangkitan arus listrik di coil stator. Dengan memahami dinamika ini, penelitian ini mendukung pengembangan desain generator yang optimal, meningkatkan efisiensi konversi energi mekanis menjadi energi listrik.

D. Penutup

Berdasarkan hasil simulasi dari generator magnet permanen dengan magnet rotor tipe IPM – V dapat disimpulkan bahwa, generator magnet tipe V vertikal dapat dibuat menjadi generator sinkron dengan keunggulan generator asinkron. Tegangan yang dihasilkan dari simulasi generator magnet permanen sangat ditentukan dari beberapa aspek seperti bahan material yang dipakai, jenis kekuatan medan magnet, jarak antara rotor dan stator serta jumlah lilitan kawat pada stator. Fluks-fluks pada rotor sangat dipengaruhi dari inti besi pada stator, yang dimana fluks-fluks magnet permanen pada kutub utara masuk ke dalam stator melewati sela sela coil dan kemudian kembali ke magnet menuju kutub selatan, begitu juga sebaliknya kutub selatan pada magnet masuk ke dalam stator kemudian kembali lagi menuju magnet kutub utara. Karakteristik stator yang diberikan lilitan coil fluks-fluks magnet pada stator yang dipengaruhi dari perputaran rotor yang menghasilkan tegangan amplitudo sekitar 4,5 volt tiga fasa dengan gelombang sinusoidal yang tidak murni. Selain itu dari simulasi ini kita bisa melihat kuat medan magnet pada rotor yang dapat dilihat dari hasil simulasi yang menunjukkan kekuatan medan magnet dan sebaran fluks-fluks magnet yang lebih optimal.

Daftar Pustaka

- Vehicles, A. T. (2022). *Voltage-Stabilizing Method of Permanent Magnet Generator for Agricultural Transport Vehicles*. 1–17.
- Boldea, I. (2017). Electric Generators and Motors: an overview. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems (CES TEMS)*, 1(1), 3–14.
- Desain, A., Generator, S., Magnet, T., Fluks, P., Menggunakan, A., & Finite, M. (2021). *Analisis desain stator generator tipe magnet permanen fluks aksial menggunakan metode finite element analysis (fea) 1,2*. 8(2), 149–156.
- Andika, & Hamzah, A. (2018). Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Tiga Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah. *Universitas Riau*, 5(1), 1–8.
- Motor, P., Tiga, S., Tipe, P., Pole, S., & Sinkron, G. (2019). *Jurnal simetrik vol.9, no.2, desember 2019*. 9(2), 197–207.

- Ramana, T. V., Manaktala, S. S., Valarmathi, K., Doohan, N. V., Shetty, D. K., Kumar, H., & Akwafo, R. (2022). Energy Auditing in Three-Phase Brushless DC Motor Drive Output for Electrical Vehicle Communication Using Machine Learning Technique. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022.
- Ramadhan, A., & Tamam, M. T. (2021). Perancangan Permanent Magnet Synchronous Generator Kapasitas 22 KVA Menggunakan Metode Finite Element Method. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 3(2), 83–90.
- Zaputra, T. P., & Gusnita, N. (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Lilitan dan Kecepatan Putar Terhadap Efisiensi Pada Permanent Magnet Synchronous Generator 18 Slot 16 Pole. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 8(2), 411.
- Saputra, R., & Aini, Z. (2021). Analisis Pengaruh Ketebalan dan Jenis Inti Besi Rotor Stator terhadap Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen 18S16P Fluks Radial. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 18(2), 220–227.
- Manishe, M. I., Hasibuan, A., & Putri, R. (2021). Perancangan Radial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Finite Element Method (Fem). *Jurnal Energi Elektrik*, 9(2), 42.
- Liu, Z. S., Fang, Z. W., & Li, X. X. (2022). Design of permanent magnet synchronous generator and anti-electromagnetic interference research. *Journal of Physics: Conference Series*, 2345(1).
- Liang, P., Pei, Y., Chai, F., & Zhao, K. (2016). Analytical calculation of D- and Q-axis inductance for interior permanent magnet motors based on winding function theory. *Energies*, 9(8).
- Takahashi, T., Kitao, J., Miyama, Y., Nakano, M., & Yamane, K. (2018). *Permanent Magnet Type Rotating Electrical Machine*. <https://patents.google.com/patent/CN111149281A/en>