

## ANALISIS DESAIN STATOR GENERATOR TIPE MAGNET PERMANEN FLUKS AKSIAL MENGGUNAKAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

1,2) Staf Pengajar, Program studi teknik industri  
3) Staf Pengajar, Program Studi Teknik Elektro  
4,5) Mahasiswa Program studi Teknik Industri fakultas teknik universitas adi buana Surabaya, Jl. Dukuh Menanggal XII, Surabaya 60234 Jawa Timur, Indonesia

Corresponding email <sup>1)</sup> :  
[nushron@unipasby.ac.id](mailto:nushron@unipasby.ac.id)

Received: 01-11-2021

Accepted: 15-11-2021

Published: 28-12-2021

©2021 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**M. Nushron Ali Mukhtar <sup>1)</sup>, Titik Koesdijati <sup>2)</sup>, Sagita Rochman <sup>3)</sup>,  
Edi Nasrulloh <sup>4)</sup>, Lutfi Hidayat <sup>5)</sup>**

**Abstrak.** Casing stator merupakan bagian terpenting guna melindungi inti dari bagian generator sehingga inti dari generator tersebut tidak terjadi kontak langsung pada bagian luar generator yang dapat mempengaruhi kinerja generator tersebut. Generator mempunyai 2 jenis yaitu jenis fluks aksial dan fluks radial. Hasil pembahasan Perubahan saat diberikan gaya pada area ( $x$ ) yang belum diketahui, dikarenakan area tersebut akan di ketahui ketika gaya yang diberikan terjadi perubahan pada bidang, dengan ini dari gaya atau force yang diberikan terjadi perubahan pada setiap variasi force. 750 N terjadi perubahan 4,16449E-06 mm, 1000 N terjadi perubahan 5,55265E-06 mm, 1250 N terjadi perubahan 6,94081E-06 mm, dan 1500 N terjadi perubahan 8,32897E-06 mm.

**Kata Kunci:** Stator, Generator magnet permanent, flux axial, Finite element analysis

**Abstract.** Stator casing is the most important part to protect the core of the generator so that the core of the generator does not come into direct contact with the outside of the generator, which can affect the performance of the generator. Generators have two types, namely the type of axial flux and radial flux. The discussion results change when a force is applied to an area ( $x$ ) that is not yet known because the area will be known when the applied force changes in the plane. With this form of the given force, there is a change in each variation of the force. 750 N there was a change of 4.16449E-06 mm, 1000 N there was a change of 5.55265E-06 mm, 1250 N there was a change of 6.94081E-06 mm, and 1500 N there was a change of 8.32897E-06 mm.

**Keywords:** Stator, permanent magnet generator, flux axial, Finite element analysis

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v8i2.173>

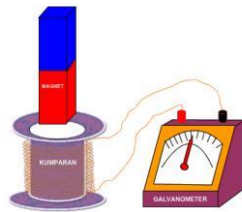
### 1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, yang akan berdampak pada kemajuan teknologi, sehingga berimbas pada kebutuhan energi listrik yang juga meningkat. Berdasarkan data kementerian ESDM berikut merupakan grafik konsumsi energi listrik pada tahun 2014-2018. Pada tahun 2018 pemerintah menargetkan konsumsi energi listrik masyarakat akan meningkat mencapai 1.129 KWH/Kapita [1]. Pasokan kebutuhan listrik selama ini PLN memanfaatkan generator cadangan, apabila kebutuhan listrik berlebihan dan terjadi kerusakan pada generator maka PLN tidak dapat memenuhi kebutuhan listrik. Sehingga membutuhkan alternative untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pada umum generator mempunyai 2 type axial dan radial. Pada Type Generator Jenis aksial arah fluks magnet yang terjadi adalah sejajar dengan poros. generator di bagi menjadi 2 bagian yaitu rotor dan stator, stator merupakan bagian dari generator yang tidak bergerak, sedangkan rotor adalah bagian dari generator yang bergerak. Pentingnya bagian rotor dan stator dalam mengembangkan generator diperlukan desain yang dapat memenuhi kualifikasi untuk sebuah produk generator[2]. Dalam proses desain generator yang terpenting adalah

bagaimana desain tersebut dapat di analisa kekuatan bahan maupun keetahan generator, sehingga sebelum desain tersebut di produksi dapat diperkirakan kemungkinan yang dapat terjadi. Pada umumnya dalam proses analisa struktur desain adalah menggunakan metode *finite element analysis* (FEA). Berdasarkan uraian pada latar belakang penelitian ini lakukan analisa desain stator pada generator type Fluks *Axial* untuk mengetahui kekukatan dan ketahanan dari desain struktur yang di buat.

## 2. Tinjauan Pustaka

Genarator merupakan alat yang dapat merubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Tenaga mekanik berasal dari energi panas, air, uap dan lain-lain. Prinsip kerja generator berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutarakan suatu kumparan atau lilitan tembaga dalam medan magnet sehingga timbul Gaya Gerak Listrik Induksi yang sering disebut GGL Induksi. [3]



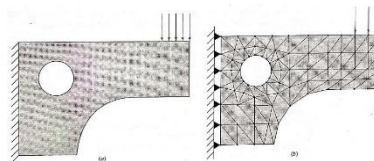
Gambar 1 Percobaan Faraday

### Analisis Kekuatan Struktur Material

Struktur material merupakan faktor yang terpenting dalam merencanakan sebuah produk, struktur material ini merupakan kunci utama dari kekuatan produk yang di dihasilkan, sehingga struktur material ini membutuhkan tahapan-tahapan sehingga dapat memilih keputusan untuk memilih material tersebut untuk di jadikan matrial pada komponen atau produk tersebut, dan juga struktur material tersebut juga memerlukan berbagai uji pada saat komponen tersebut sudah jadi dan menggunakan bahan material tersebut seperti pada penelitian-penelitian berikut.

### Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik berbasis computer untuk memecahkan masalah teknik dalam geometri bidang atau volume yang telah di tetapkan oleh pengguna. Serta geometri tersebut di bagi menjadi elemen-elemen[3].



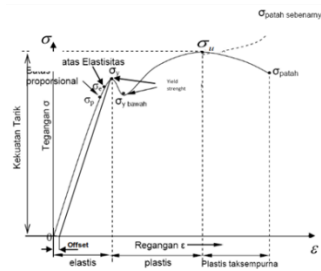
Gambar 2 Structural Problem

(Sumber : Budynas, Nisbett. 2014: 948)

Metode elemen hingga pada umumnya di gunakan untuk meneliti analisa struktur, termal, dan lainnya. Struktur rangka batang dimana batang antara dua titik hubung yang membentuk elemen rangka secara otomatis sehingga memerlukan elemen hingga.

### Deformasi

Deformasi merupakan perubahan dari kondisi semula menjadi kondisi terkini. Deformasi akan terjadi apabila bahan mengalami gaya. Selama deformasi berlangsung bahan akan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang sedang bekerja. Sekecil apapun gaya yang bekerja, benda akan mengalami perubahan bentuk serta perubahan ukuran. Pada perubahan ukuran ini secara fisik disebut deformasi. Deformasi memiliki dua macam, yaitu defromasi plastis dan deformasi elastis[4]. Deformasi plastis merupakan perubahan ukuran dari segi fisik yang bersifat permanen jika pada saat beban telah dilepas. Sedangkan deformasi elastis merupakan perubahan ukuran dari segi fisik yang terjadi akibat adanya beban, jika pada saat beban di hilangkan, maka material akan kembali pada bentuk dan ukuran semula.



**Gambar 3** Diagram Tegangan – Regangan

Pada diagram (kurva) tegangan-regangan di atas menunjukkan antara 0 ke  $\sigma_y$  posisi ini merupakan daerah elastis, sedangkan pada titik  $\sigma_y$  Batas luluh (*yield*). Sedangkan pada titik  $\sigma_u$  merupakan tegangan maksimal apabila beban di lepas maka bahan atau material tersebut tidak akan pernah bisa kembali pada ukuran semula. Apabila di berikan beban sampai melebihi titik  $\sigma_{patah}$  maka bahan tersebut menjadi akan putus. Dari titik  $\sigma_y$  ke titik  $\sigma_u$  bahan tersebut mengalami deformasi plastis sempurna. Sedangkan pada titik  $\sigma_u$  sampai  $\sigma_{patah}$  sehingga terjadi deformasi plastis tak sempurna dimana batang pada struktur tersebut mengecil dan pada akhirnya patah.

### Safety Factor

*Safety Factor* merupakan faktor yang paling penting dalam menganalisa struktur atau merencanakan struktur secara keseluruhan pada desain. *Safety factor* ini dipengaruhi faktor yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Dalam *safety factor* ini terdapat penentuan, ada aspek yang wajib di perhatikan. Secara rumus, *safety factor* merupakan perbandingan antara besar beban batas kekuatan dengan beban yang diterima pada desain. Berikut merupakan formulasi *safety factor* :

$$\text{safety of factor} = \frac{\text{material strenght}}{\text{design load}}$$

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma}$$

Keterangan :

$\sigma_y$  : besar beban batas kekuatan

$\sigma$  : beban yang diterima oleh desain

Agar nilai keamanan dapat tercapai, maka *design load* atau beban yang diterima oleh desain tidak boleh lebih besar dari nilai batas beban kekuatan pada material. Nilai *safety factor* ini harus lebih besar daripada 1 (Satu). Terdapat catatan penting semakin besar *safety factor* akan berdampak pada banyaknya pemakaina material yang digunakan, serta bertambahnya *cost* (biaya) yang digunakan.

Bagian ini memuat teori-teori pendukung dari metode yang diusulkan untuk pemecahan suatu masalah dan/atau pengembangan dari metode tersebut, yang didasarkan dari **referensi primer dan sekunder** yang jelas (buku, jurnal, prosiding dan artikel ilmiah lainnya)[5].

### Langkah Umum Melakukan FEA

Langkah-langkah umum dalam menentukan rumusan analisis elemen hingga masalah fisik, meliputi struktur, aliran fluida, perpindahan panas dan beberapa masalah yang ada dalam analisa FEA tersebut. Terdapat 3 lagkah utama yang harus di ketahui yaitu: Pre processin, Solusi, dan Post processing. Dalam suatu model dalam proses sangatlah penting. Serta dalam sebuah solusi elemen hingga sempurna dihitung adalah benar tidak ada nilai, jika masalah tersebut salah. Langkah tersebut meliputi : maslah menentukan geometris, elemen jenis (s) yang digunakan, sifat dari unsur-unsur material yang digunakan, sifat geometris pada elemen (panjang, luas, dan sejenisnya), mesh model, kondisi batasserta beban yang di analisis[6].

Langkah berikutnya merupakan solusi, langkah ini memanfaatkan persamaan aljabar yang mengatur dalam bentuk matriks serta akan menghitung nilai yang tidak diketahui dari variabel utama (s). Hasil hitungan akan digunakan kembali substitusi untuk menentukan tambahan variabel yang di peroleh, seperti pada gaya reaksi, tekanan pada unsur dan aliran panas. Fitur dalam langkah ini seerti pada manipulasi matriks, integrase numerik dan pemecahan persamaan yang dilakukan secara otomatis oleh perangkat lunak komersial.

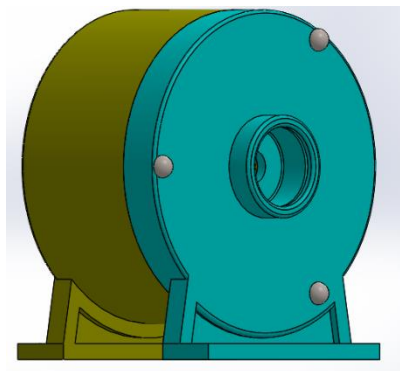
Langkah terakhir adalah post processing, analisa dan evaluasi dari hasil yang dilakukan. Contoh pada proses yang telah dilakukan seperti pada tekanan pada elemen dalam urutan besarnya, cek kestabilan, *safety factor*, alur kecacatan pada struktur, serta warna pada model yang bernyawa dinamis dan menghasilkan warna kode tersendiri[7].

**Model Stator Generator**

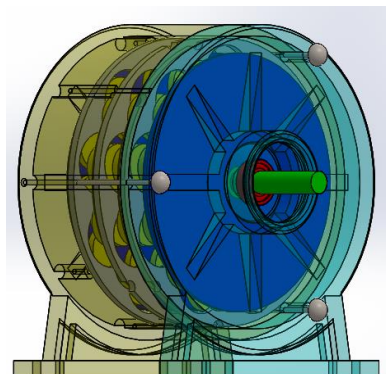
Model ini digambarkan dalam gambar 4. Pada model ini memiliki ukuran diameter lingkaran 190 mm dan panjang tumpuan 150 mm dan lebar 50 mm. Bahan yang digunakan merupakan bahan yang kuat yaitu alluminium A356 F, bahan ini merupakan bahan yang sangat cocok digunakan karena bahan ini memiliki tingkat kekuatan yang sangat kuat dan pada umumnya bahan ini digunakan dalam proses pembuatan blok mesin atau breaket pada mesin motor bahan ini memiliki Properties material sebagai berikut[8].

**Tabel 1.** Properties Material

Property	Value	Units
Elastic Modulus	72400	N/mm <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	27200	N/mm <sup>2</sup>
Mass Density	2680	Kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	145	N/mm <sup>2</sup>
Comperessive Strength		N/mm <sup>2</sup>
Yield Strength		N/mm <sup>2</sup>
Thermal expansion coeffient	2.14e-005	/K
Thermal conductivity	167	W/(m.k)
Specific Head	963	J/(kg.K)
Material Damping ratio		N/A



**Gambar 4** Model Stator Luar

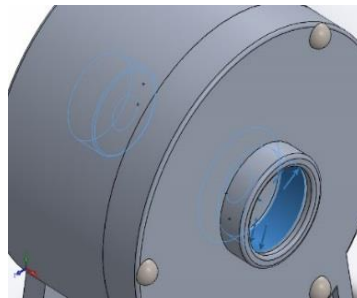


**Gambar 5** Model Stator Bagian Dalam



**Memuat**

Model Stator pada generator ini mendapatkan gaya dari beban baling-baling dan juga beban dari rotor. Beban yang diaumsikan pada stator ini ada 4 varian uji yakni uji beban statis dengan 750 N, 1000 N, 1250 N, dan 1500 N. Terjadi tekanan pada titik poros pada stator yang menjadi tumpuan Shaft Rotor.



**Gambar 6** Beban Statis

**Von Misses**

Dari berbagai varian uji beban berikut hasil analisis beban statis.

**Tabel 2** Von Misses

NO.	BEBAN	MIN	MAX
1	750 N	14478.5 N/m <sup>2</sup> Node: 717	2.23891e+007 N/m <sup>2</sup> Node: 2633
2	1000 N	19304.6 N/m <sup>2</sup> Node: 717	2.98521e+007 N/m <sup>2</sup> Node: 2633
3	1250 N	24953.4 N/m <sup>2</sup> Node: 717	3.73214e+007 N/m <sup>2</sup> Node: 2633
4	1500 N	28956.9 /m <sup>2</sup> Node: 717	4.47782e+007 N/m <sup>2</sup> Node: 2633



**Displacement**

Dari berbagai varian uji berikut hasil analisis dengan nilai Displacement.

**Tabel 3** Displacement

NO.	BEBAN	MIN	MAX
1	750 N	0 mm Node: 154	0.035831 mm Node: 25415
2	1000 N	0 mm Node: 154	0.0477746 mm Node: 25415
3	1250 N	0 mm Node: 154	0.059718 mm Node: 25415
4	1500 N	0 mm Node: 154	0.0716619 mm Node: 25415

**Equivalent Strain**

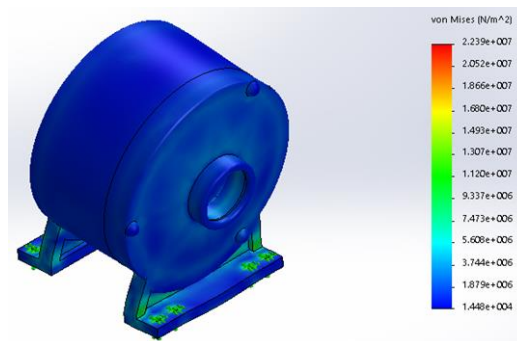
Dari berbagai varian uji berikut hasil analisis dengan nilai Equivalent Strain.

**Tabel 4** Equivalent Strain

NO.	BEBAN	MIN	MAX
1	750 N	3.43749e-007 Element: 1233	0.000182886 Element: 14126
2	1000 N	4.58332e-007 Element: 1233	0.000243848 Element: 14126
3	1250 N	5.615e-007 Element: 1233	0.000304888 Element: 14126
4	1500 N	6.87497e-007 Element: 1233	0.000365772 Element: 14126

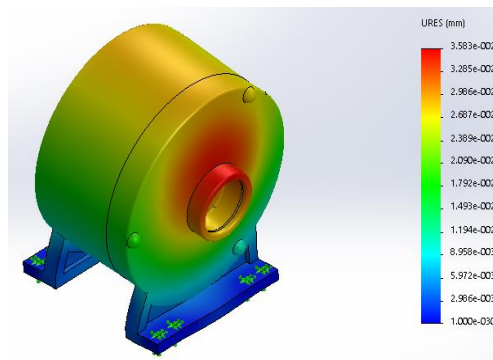
**3. Hasil Dan Pembahasan**  
**Beban Statis 750 N**

Lokasi terjadinya stress atau Von Misses pada beban statis 750 N adalah pada permukaan dinding pada sisi generator, tumpuan atau kaki-kaki tabung stator serta pada dudukan bearing seperti yang di tunjukkan pada Gambar 7. Besarnya minimum dan maksimum stres yang terjadi sebagai berikut:



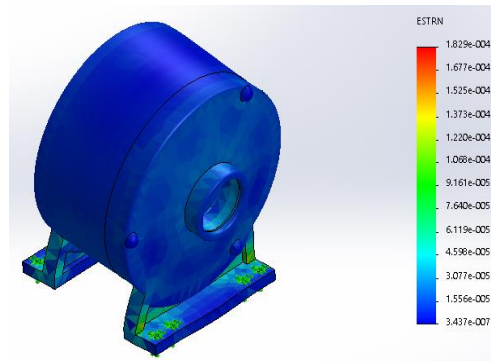
**Gambar 7** Von Misses

Pada beban statis 750 N terjadi minimal von misses sebesar 14478.5 N/m<sup>2</sup> pada titik node 717 serta terjadi von misses maksimal sebanyak 2.23891e+007 N/m<sup>2</sup> pada titik node 2633.



**Gambar 8** Displacement

Serta terjadi perpindahan tegangan ke regangan atau displament minimal sebanyak 0 mm pada titik node 154, dan displacement maksimal sebanyak 0.035831 mm pada titik node 25415 seperti pada Gambar 8.



**Gambar 9** Strain

Dalam beban statis ini juga mengalami perubahan panjang atau strain dari ukuran semula pada stator ini, perubahan panjang atau strain minimal sebanyak  $3.43749e-007$  pada element : 1233, dan strain maksimal sebanyak  $0.000182886$  pada element : 14126 seperti pada Gambar 9.

**Tabel 5** Hasil perhitungan komputer kerangka chassis

No	Pembebanan	Von Misses	Displacement	Strain
1	750N	2,2389 Mpa	0,035831 mm	0,0001828
2	1000N	2,9821 Mpa	0,047774 mm	0,0002438
3	1250N	3,7321 Mpa	0,059718 mm	0,0003048
4	1500N	4,4778 Mpa	0,071661 mm	0,0003657

#### 4. Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa titik stress dari 4 varian uji beban statis yang terjadi stress paling tinggi pada bagian dinding stator dan pada tumpuan shaft, dari hasil analisis setiap selilih 250 N memiliki selisi yang di hasilkan berbeda beda dari hasil analisis nilai von misses minimal memiliki perbedaan hasil analisa dari uji 1, 2, 3, dan 4. Dari hasil analisa selisi uji 1 dan 2 memiliki selisi  $4826,1 \text{ N/m}^2$  dan selisi von misses maksimal  $7.463e+6 \text{ N/m}^2$ , selisih dari hasil analisa uji 2 dan 3 memiliki nilai von misses minimal sebanyak  $5648.8 \text{ N/m}^2$  dan selisi von misses maksimal  $7.4693e+6 \text{ N/m}^2$ , dan selisi dari hasil analisa uji 3 dan 4 nilai von misses minimal sebanyak  $4003.5 \text{ N/m}^2$  dan dari hasil analisis von misses maksimal sebanyak  $7.4568e+6 \text{ N/m}^2$ . Hasil analisa untuk Displacement memiliki nilai maksimal yang hampir sama tidak mengalami perubahan hanya selisi  $0,000001$  dari uji 2 dan 3. Dengan ini nilai stress atau von miss yang maksimal memungkinkan akan terjadi kegagalan pada saat proses produksi. Sejak kegagalan kelelahan mulai dari titik stress tinggi dapat disimpulkan bahwa titik kritis ini kemungkinan awal dari kegagalan. Dengan demikian, penting untuk catatan mengurangi besarnya stress pada lokasi tersebut atau mempertebal atau memperkuat titik stress tersebut agak lebih kuat dan memperkecil stress pada titik kritis tersebut.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengakui bantuan atau dorongan dari rekan-rekan, kerja khusus oleh staf teknis atau dukungan keuangan dari organisasi harus melakukannya di bagian Ucapan Terima Kasih bernomor segera setelah bagian bernomor terakhir dari kertas.

**Daftar Pustaka**

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Konsumsi Listrik Nasional tahun 2014-2018. Jakarta: Kementerian ESDM. 2018.
- [2] Indrakto, Rifky, Tatang. Analisis Pembebanan Statik dengan Variasi Temperature pada Connecting Rod Motor Honda Tipe Grand 100 cc dengan Material Baja AISI 1006, AISI 1040 dan AISI 1070
- [3] Budynas, Richard G., J. Keith Nisbett. Shigley's Mechanical Engineering Design Tenth Edition. New York: Mc Graw-Hill. 2014.
- [4] Software CATIA V5R14 .Tugas akhir. Fakultas Teknik UNS. Semarang. 2007
- [5] Szytula A dan Leciejewicz J. Handbook pada Fisika dan Kimia Langka Bumi vol 12, ed KA Gschneidner Jr dan L Erwin (Amsterdam: Elsevier) p 133. 1989.
- [6] Mukhtar, M. Sagita, Rochman. Analisis Simulasi Proses Ironing Untuk Mengetahui Ketinggian Dinding Berdasarkan Variasi Reduksi Ketebalan Dinding. Jurnal Teknik Waktu. Vol. 15 No. 2, ISSN : 1412 – 1867. 2017.
- [7] Mukhtar, M, dkk. Rancang Bangun Gearbox Untuk Turbin Angin Savonius Vertikal ( TASV ) Menggunakan Metode FEA. Jurnal Teknik mesin. Vol. 7 No. 2, ISSN : 2581 – 2661. 2020.
- [8] Kuhn, T. Density Matriks Teori Teori Dinamika Ultrafast Koheren Transportasi Sifat Semiconductor Struktur Nano (Bahan Elektronik vol 4) ed E Schöll (London: Chapman dan Hall) bab 6 hlm 173-214. 1998.

