

## INOVASI GENERATOR DENGAN PENGATURAN KUMPARAN EKSITASI

Supri Hardi<sup>1</sup>, Radhiah<sup>1</sup>, Nelly Safitri<sup>3</sup>, Atika Lefyana Nur<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B. Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

<sup>1</sup>[suprihardi@pnl.ac.id](mailto:suprihardi@pnl.ac.id),

<sup>2</sup> [radhiah34@yahoo.com](mailto:radhiah34@yahoo.com),

<sup>3</sup>[nellysafitri@pnl.ac.id](mailto:nellysafitri@pnl.ac.id),

<sup>4</sup>[atika@pnl.ac.id](mailto:atika@pnl.ac.id)

**Abstrak**—Penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan literasi dari penelitian terdahulu terkait generator listrik dengan rekayasa rotor menggunakan magnet permanen. Pengembangan generator dengan magnet permanen digunakan untuk skala beban yang tidak membutuhkan standar tegangan dan frekuensi tetap. Kelemahan generator magnet permanen yaitu menghasilkan tegangan induksi dan frekuensi yang tidak dapat diatur konstan. Rancangan generator dalam penelitian ini untuk beban yang membutuhkan tegangan dan frekuensi tetap dengan rekayasa menggunakan kumparan eksitasi pada rotornya. Permasalahan yaitu bagaimana rancangan motor induksi menjadi generator sinkron, kumparan rotor dan rancangan kumparan stator, seberapa besar kumparan eksitasi menghasilkan magnet dengan variasi tegangan, bagaimana tegangan generator sinkron yang dihasilkan terhadap variasi tegangan eksitasi, dan berapa besar daya yang dihasilkan generator. Tujuan penelitian yaitu menghasilkan generator sinkron 1 fasa rotor kumparan eksitasi yang dimodifikasi dari motor induksi 1 fasa. Metode penelitian yang dilakukan yaitu melakukan perancangan, pembuatan dan pengujian generator sinkron dengan cara memodifikasi dari motor induksi 1 fasa dan menggunakan kumparan eksitasi. Rancangan dilakukan dengan menentukan ukuran inti berbentuk kutub menonjol pada rotor, rancangan kumparan eksitasi terkait jumlah kutub, ukuran dan jumlah lilitan kutub magnet, rancangan kumparan induksi stator terkait bentuk, ukuran dan jumlah lilitan. Hasil penelitian yang dicapai yaitu Generator sinkron 1 fasa dengan inti rotor sebagai sepatu kutub terbuat dari lempengan plate trafo dengan ukuran 2x10 cm pada shaft rotor dengan ukuran diameter 2,5 cm dan panjang 32,5 cm. Kumparan rotor penuh dengan kawat email diameter 0,35 mm sebanyak 250 lilitan. Kumparan stator penuh dengan kawat email diameter 0,55 mm sebanyak 130 lilitan per alur serta membentuk 8 kutub. Besar magnet kumparan eksitasi setiap kutubnya pada arus 1,412 A, 140 volt dengan ukuran kawat 0,35 yang melebihi kapotasitannya dan menghasilkan rapat fluks magnet sebesar 88 mTesla. Tegangan generator kondisi diberi tegangan eksitasi 100 volt dengan arus 1,12 ampere menghasilkan rapat fluks magnet sebesar 77,59 mTesla sebesar 61 volt pada beban 25 watt. Tegangan generator meningkat kondisi meningkatnya tegangan eksitasi kumparan kutub rotor. Besar daya yang dihasilkan generator 25 watt pada tegangan 61 volt, dan 240 watt pada tegangan 18 volt.

**Kata kunci**— [generator](#), [motor](#), [rotor](#), [stator](#)

**Abstract**—This research was carried out by paying attention to literature from previous research related to electric generators with rotor engineering using permanent magnets. The development of generators with permanent magnets is used for large loads that do not require fixed voltage and frequency standards. The weakness of permanent magnet generators is that they produce an induced voltage and frequency that cannot be set constant. The role of the generator in this research is for loads that require a fixed voltage and frequency by engineering using an excitation coil on the rotor. The problems discussed are how to design an induction motor into a synchronous generator, designing the rotor coil and stator coil, how much magnetic excitation coil produces with voltage variations, how the synchronous generator voltage is produced relative to excitation voltage variations, and how much power the generator produces. The aim of this research is to produce a single phase excitation coil rotor synchronous generator modified from a single phase induction motor. The research method used is to design, manufacture and test a synchronous generator by modifying a single phase induction motor and using an excitation coil. The design is carried out by determining the size of the core in the form of protruding poles on the rotor, the design of the excitation coil is related to the number of poles, the size and number of turns on the magnetic poles, the design of the stator induction coil is related to the shape, size and number of turns. The research results achieved were a single-phase synchronous generator with a rotor core as a pole shoe made from a transformer plate measuring 2x10 cm on a rotor shaft with a diameter of 2.5 cm and a length of 32.5 cm. The rotor coil is filled with 0.35 mm diameter enamel wire for 250 turns. The stator coil is filled with 0.55 mm diameter enamel wire with 130 turns per groove and forms 8 poles. The size of the excitation coil magnet per pole is 1.412 A, 140 volts with a wire size of 0.35 which exceeds its capacity and produces a magnetic flux density of 88 mTesla. The generator voltage condition is given an excitation voltage of 100 volts with a current of 1.12 amperes producing a magnetic flux density of 77.59 mTesla of 61 volts at a load of 25 watts. The generator voltage increases as the excitation voltage of the rotor pole coil increases. The power produced by the generator is 25 watts at 61 volts, and 240 watts at 18 volts.

**Keywords**— Generator, motor, stator, rotor

## I. PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan karena tuntutan penyediaan generator dengan kapasitas kecil dengan putaran rendah. Penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan literasi dari penelitian terdahulu [1][2][3][4] terkait generator listrik dengan rekayasa rotor menggunakan magnet permanen. Rekayasa generator sinkron dengan magnet permanen pada rotor memiliki kelemahan dibidang pengaturan magnet yang tidak dapat dilakukan. Akibat magnet yang tidak dapat diatur, maka tegangan induksi pada kumparan stator tidak tetap kondisi variasi beban. Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan penelitian dengan merekayasa magnet rotor yang dapat diatur dengan menggunakan kumparan eksitasi. Secara garis besar pelaksanaan penelitian ini yaitu; melakukan inovasi pada sebuah motor induksi 1 fasa dengan melakukan rekayasa pada rotor dan stator motor induksi 1 fasa tersebut. Rekayasa yang dilakukan mengubah rotor sangkar menjadi sepatu kutub sebagai tempat lilitan eksitasi untuk pembangkit energi magnet sebanyak 8 kutub secara simetris. Rekayasa selanjutnya pada kumparan stator motor induksi 1 fasa. Stator motor induksi tersebut dilakukan rancangan lilitan dengan jumlah alur 24, 8 kutub, 1 fasa, tanpa mengubah struktur stator yang ada.

Generator sinkron secara konstruksi terdiri dari casing generator, inti stator, lilitan stator, inti rotor, lilitan eksitasi, slip ring, dan bearing. Konstruksi motor induksi hampir sama dengan konstruksi generator sinkron. Perbedaannya pada konstruksi di rotor motor induksi menggunakan rotor sangkar. Konstruksi rotor generator sinkron memiliki kumparan eksitasi kutub menonjol yang diberi tegangan DC sebagai pembangkit magnet. Konsep kerja generator, jika pada kumparan eksitasi generator sinkron diberi tegangan DC sebagai pembangkit magnet dan diputar di antara kumparan stator, maka terjadi induksi [5]. Bahan yang digunakan sebagai inti stator dan rotor adalah baja silikon dalam bentuk susunan lembaran tipis, karena bahan tersebut salah satu penghantar magnet paling baik. Inti stator merupakan susunan lempengan baja silikon membentuk alur untuk penempatan kumparan stator sebagai kumparan induksi. Inti rotor dibentuk dari susunan lempengan baja silikon untuk penempatan kumparan eksitasi pembangkit magnet. Inovasi generator ini merupakan konstruksi mesin-mesin listrik khususnya dari motor induksi yang dirancang bekerja sebagai generator sinkron. Konsep sebuah generator sinkron dalam mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik ada 3 variabel yang berkaitan erat yaitu, besar magnet pada rotor, jumlah dan bentuk lilitan induksi pada stator, dan jumlah putaran yang diterima generator. Untuk mendapatkan sebuah kapasitas tertentu, maka harus dirancang 3 variabel

tersebut, yang pertama merekayasa kumparan eksitasi dengan membentuk inti rotor sebagai tempat aliran magnet yang dapat diatur, jumlah lilitan yang sesuai hitungan, dan putaran sesuai jumlah kutub dengan frekuensi standar 50 HZ [6]-[7].

Rancangan rotor kutub menonjol pada motor BLDC sebagai generator menggunakan magnet permanen pada statornya. Motor BLDC tersebut mengubah jumlah langkah slot 6, 9, 12, dan 15 pada generator 8 kutub pada rotornya. Penelitian tersebut melihat bagaimana terkait performa generator yang dihasilkan. Performa yang akan dikaji adalah tegangan dan torsi lawan. Pengujian yang dilakukan terhadap 6, 9, 12, dan 15 slot pada jumlah kutub tetap 8 kutub. Ternyata performa yang paling bagus yaitu pada 9 slot 8 kutub dengan nilai tegangan dan torsi lawan yang paling kecil terjadi pengurangan pada 7,4% dan 8% [8].

Generator sinkron juga akan berpengaruh oleh jarak celah udara, dimana semakin besar celah udara antara rotor dan stator semakin kecil tegangan yang dihasilkan. Sebaliknya jika jarak celah udara antara kumparan stator dengan kumparan kumparan eksitasi rotor semakin kecil maka tegangan yang dihasilkan lebih besar. Untuk jarak celah udara kumparan eksitasi rotor dan lilitan kumparan stator yang di uji dengan jarak 1mm dan 2mm pada putaran rendah 200 rpm diperoleh tegangan 43,5 volt dan 39,2 volt untuk pengujian tanpa beban. Pada pengujian berbeban diperoleh tegangan 30 volt dan 26,8 volt dengan jarak celah udara (gap) yang sama dan besarnya arus yang dihasilkan 0,21 mA [9].

Rancangan generator sinkron juga harus memperhatikan keseimbangan kumparan magnet setiap kutubnya. Terjadinya ketidak seimbangan magnet berpengaruh terhadap performa generator tersebut. Ketidak seimbangan magnet tiap kutubnya akibat dari jumlah lilitan atau terjadi hubung singkat pada lilitan kutub magnetnya. Akibat yang ditimbulkan adalah tegangan induksi pada kumparan statornya terjadi distorsi gelombang tegangan [10]. Semakin besar ketidak seimbangan magnet, maka distorsi tegangan yang dihasilkan generator juga semakin besar.

Rancangan geometris rotor khususnya rotor kutub menonjol (*salient pole*) sangat berpengaruh terhadap kinerja generator. Ternyata sudut simetris setiap kutub magnet berpengaruh terhadap tegangan dan distorsi yang dihasilkan. Desain mesin kelistrikan generator sinkron kutub menonjol yang simetris setiap kutubnya akan meningkatkan kualitas tegangan mesin sinkron tersebut [11].

Analisis yang dilakukan pada generator sinkron rotor menonjol (*salient pole*) dengan nonlinier *magnetic equivalent circuit* (MEC) dan *wound rotor synchronous generator* (WRSYG). Generator sinkron dengan struktur

kutub menonjol dilakukan analisis untuk menghitung induktansi, rangkaian magnet dibuat dengan cara konfirmasi aliran fluks magnet sumbu d-q. Dari hasil MEC dapat diperoleh parameter elektromagnetik dan karakteristik pembangkitan listrik dari generator dengan parameter elektromagnetik. Hasil divalidasi dengan membandingkan hasil *finite-element (FE)*, sehingga tegangan dan daya dapat diprediksi berdasarkan parameter elektromagnetik tersebut [12].

Desain secara detail konstruksi rotor kutub menonjol untuk generator sinkron, dimana Kutub rotor menonjol dirancang untuk meningkatkan kinerja dari generator sinkron dengan Menambah jumlah kutub rotor bisa lebih bermanfaat, Hubungan fluks dapat ditingkatkan dengan bertambahnya putaran di setiap kutub rotor, dan Mengurangi celah udara hingga batas yang memungkinkan, biasanya dibatasi oleh kegagalan mekanis [13].

Besar tegangan induksi yang dibangkitkan sebesar,

$$E = 4,44 \times f \times N \times \Phi \quad (1-1)$$

Dimana  $E$  adalah tegangan dibangkitkan,  $f$  adalah frekuensi yang tergantung kecepatan turbin memutar generator,  $N$  adalah jumlah lilitan generator, fluksi magnet yang dihasilkan oleh pengaturan tegangan eksitasi. Kecepatan rotor dan frekuensi dari tegangan yang dibangkitkan oleh suatu generator sinkron berbanding lurus. Satu putaran rotor dalam satu detik menghasilkan satu siklus per detik atau 1 Hertz (Hz). Bila kecepatannya 60 Revolution per menit (Rpm), frekuensi 1 Hz. Maka untuk frekuensi  $f = 60$  Hz, rotor harus berputar 3600 Rpm. Untuk kecepatan rotor  $n$  rpm, rotor harus berputar pada kecepatan  $n/60$  revolution per detik (rps). Bila rotor mempunyai lebih dari 1 pasang kutub, misalnya  $P$  kutub maka masing-masing revolution dari rotor menginduksikan  $P/2$  siklus tegangan dalam lilitan stator. Frekuensi dari tegangan induksi sebagai sebuah fungsi dari kecepatan rotor, dan diformulasikan dengan [9 10]:

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{n}{60} \text{ (hertz)} \quad (1-2)$$

Ketentuan standar nilai tegangan, dan frekuensi, pada system memiliki batas yang ditentukan oleh standar IEEE-519 tentang Aturan Distribusi Tenaga Listrik dimana ketentuan tersebut yaitu,

1. Tegangan Dalam peraturan disebutkan bahwa tegangan pada distribusi tenaga listrik dibatasi pada fluktuasi max +5% dan minimal -10%
2. Frekuensi Frekuensi nominal 50 Hz dibatasi dalam rentang 49.5 -50.5 Hz

Penentuan standar tegangan, dan frekuensi tentunya memiliki tujuan yaitu,

1. Tujuan tegangan harus tetap konstan pada berbagai kondisi dan perubahan beban yaitu,
  - a. Untuk menghindari kerusakan peralatan sumber tegangan dan beban pada sisi konsumen
  - b. Kenyamanan pengguna energi listrik

2. Tujuan frekuensi harus tetap konstan pada berbagai kondisi dan perubahan beban terlebih-lebih pada saat beban lepas yaitu,
  - a. untuk menyelamatkan peralatan mekanik pada sisi pembangkit
  - b. untuk menyelamatkan peralatan dari perubahan putaran pada sisi konsumen
  - c. untuk menyelamatkan peralatan dari over load pada saat kecepatan rendah

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini sesuai masalah yang dibahas yaitu metode perancangan, pembuatan dan pengujian. Fokus penelitian yaitu melakukan modifikasi motor induksi 1 fasa menjadi generator sinkron 1 fasa berdaya 1 KW, 220 volt, 50 Hz dan kecepatan rendah 750 RPM. Metode terhadap focus penelitian ini yaitu Merancang, membuat dan menguji modifikasi motor induksi 1 fasa menjadi generator sinkron 1 fasa berdaya dan kecepatan rendah merupakan metode yang relevan untuk dilakukan. Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian ini yang akan dijelaskan nantinya di metode penelitian.

Membuat generator sinkron dengan mengubah motor induksi 1 fasa, selanjutnya menguji generator sinkron 1 fasa tersebut terkait karakteristik generator terhadap tegangan, frekuensi, daya kondisi variasi beban. Karakteristik generator hasil modifikasi sangat penting terkait mengkonversi daya mekanik menjadi energi listrik. Besar daya generator sinkron 1 fasa yang akan dirancang dengan kapasitas dibawah 1 KW. Metode yang dilakukan dalam membuat generator sinkron 1 fasa dari modifikasi motor induksi 1 fasa untuk kebutuhan masyarakat sebagai berikut.

### A. Perancangan dan pembuatan generator 1 fasa

Dalam merancang generator sinkron yang harus dihitung jumlah kutub, kekuatan magnet hasil modifikasi rotor sangkar menjadi rotor lilitan yang dihasilkan, rancangan kumparan induksi di stator dengan kapasitas daya dibawah 1 KW, dengan putaran 750 RPM yang akan dibuat yaitu,

1. Merancang kumparan eksitasi pada sisi rotor  
Membuat kerangka rotor dari lempengan plat trafo setebal 3 mm, sebagai penempatan kumparan eksitasi. Kemudian dilas lempengan trafo membentuk sepatu kutub pada shaf rotor. Selanjutnya melakukan penggulangan dengan koker sebagai pelapis isolasi pada kumparan eksitasi dengan tegangan 0-220 volt.
2. Merancang kumparan 220 volt dengan frekuensi 50 Hz

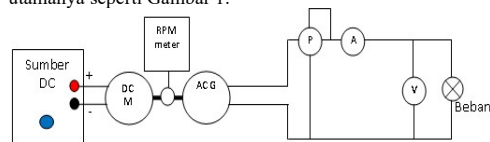
- a. Melakukan pembongkaran kumparan stator motor induksi, kemudian dirancang terkait jumlah kutub, langkah kumparan, jumlah kumparan dan ukuran kawat yang digunakan.
- b. Melakukan penggulangan ulang (rewinding) kumparan stator sesuai rancangan yang dilakukan.

### B. Pengujian generator sinkron 1 fasa

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik generator sinkron 1 fasa terkait variasi beban. Pengujian dilakukan untuk melihat;

- a. Kekuatan magnet yang dihasilkan
- b. Mengetahui besar tegangan dan frekuensi yang dibangkitkan
- c. Mengetahui besar daya yang mampu dihasilkan oleh generator sinkron 1 fasa.

Metode pengujian yang akan dilakukan yaitu dengan memutar generator dengan variasi Putaran. Generator dikoplingkan dengan motor DC sebagai penggerak utamanya seperti Gambar 1.

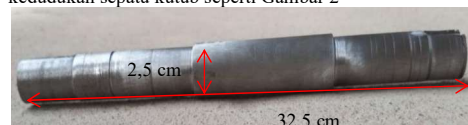


Gambar 1. Rangkaian pengujian generator

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Pembentukan Sepatu Kutub

Hasil penelitian yang telah dilakukan terkait rancangan dan pembuatan generator sinkron dengan kumparan eksitasi dengan sepatu kutub dengan jumlah 8 kutub. Rekayasa rotor terdiri dari poros shaft sebagai kedudukan sepatu kutub seperti Gambar 2

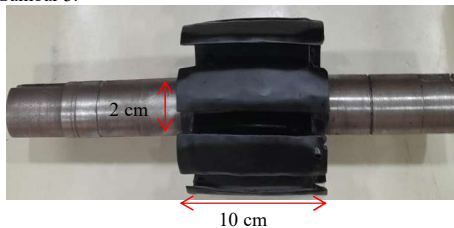


Gambar 2. Pembubutan poros shaft

Pada poros shaft untuk penempatan bantalan (*bearing*), *slip ring* dan kedudukan sepatu kutub nantinya.

Sepatu kutub dibuat dengan susunan lempengan plate trafo dengan ukuran 2 x 10 cm yang dilaskan pada poros shaft dengan ukuran 2,5 x 32,5 cm sebanyak 8 kedudukan mengelilingi poros dengan jarak yang simetris. Lempengan plat trafo tersebut merupakan sepatu kutub yang nantinya diberi lilitan sebagai pembangkit magnet kondisi

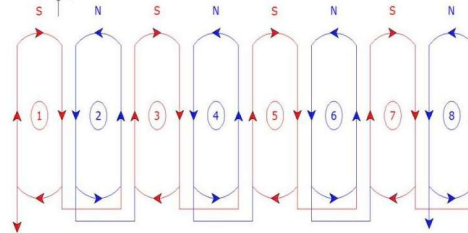
diberi tegangan DC. Bentuk sepatu kutub dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk sepatu kutub rotor

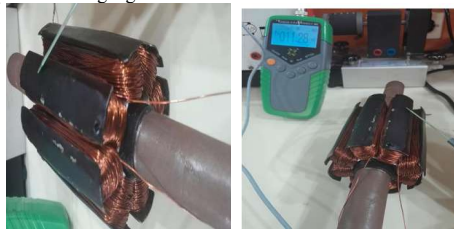
### 2. Pembentukan Kumparan Eksitasi

Sepatu kutub tersebut dibentuk sebagai penempatan kumparan dengan ukuran kawat sebesar 0,5 mm, dengan jumlah lilitan perkutubnya sebanyak 100 lilitan. Kemudian dilakukan penggulangan ulang dengan kawat email 0,35 mm dengan jumlah 200 lilitan dan 250 lilitan. Merubah jumlah lilitan untuk mengetahui sekaligus terkait kekuatan magnet yang dihasilkan. Pengukuran kekuatan magnet dilakukan dengan menggunakan tesla meter.



Gambar 4. Bentuk lilitan sepatu kutub rotor

Rangkaian kumparan setiap kutub dihubungkan secara seri dengan arah kumparan setiap kutub berlawanan arah. Arah kumparan ke kanan membentuk kutub utara dan arah kumparan ke kiri membentuk kutub selatan. Ujung kumparan dihubungkan ke *slip ring* sebagai penghubung pemberian tegangan DC dari sumber luar.



Gambar 5. Kumparan eksitasi sepatu kutub

### 3. Pengukuran Magnet Kumputan Eksitasi

Langkah ini dilakukan untuk mengetahui besar magnet yang dihasilkan oleh magnet eksitasi pada sepatu kutub tersebut. Besar magnet yang dihasilkan dari pengukuran kutub utara dan selatan dengan jumlah lilitan 100 dan ukuran kawat email 0,5 mm rata-rata besar magnet seperti Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Kekuatan magnet 100 lilitan 0,5 mm

Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Rata-rata Besar magnet (mT)
10	1,4	61
20	2,71	71
30	3,9	81

Besar magnet yang dihasilkan dari pengukuran kutub Utara dan selatan dengan jumlah lilitan 200 dan ukuran kawat email 0,35 mm seperti Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Kekuatan magnet 200 lilitan 0,35 mm

Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Rata-rata Besar magnet (mT)
10	0,28	63
50	0,75	72
100	1,5	82

Besar magnet yang dihasilkan dari pengukuran kutub Utara dan selatan dengan jumlah lilitan 250 dan ukuran kawat email 0,35 mm seperti Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3 Kekuatan magnet 250 lilitan 0,35 mm

Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Rata-rata Besar magnet (mT)
10	0,12	59
20	0,24	60
30	0,36	62,42
40	0,48	64,83
50	0,59	67,11
60	0,71	69,39
70	0,82	71,66
80	0,91	73,48
90	1,02	75,52
100	1,12	77,59
110	1,19	79,03
120	1,13	81
130	1,24	83
140	1,412	88

Rata rata magnet kutub pada arus 1,412 A dengan jumlah lilitan per kutub 250 lilitan, hasil pengukuran besar medan elektromagnetik sebesar 88 mT atau  $88 \times 10^{-3}$  Tesla. Luas permukaan magnet  $P \times L = 100 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 2000 \text{ mm}^2 = 0,002 \text{ m}^2$

$$1 \text{ Tesla} = 1 \text{ wb/m}^2$$

$$\Phi = B (\text{Wb/m}^2) \times A (\text{m}^2) = (\text{weber})$$

$$\Phi = 88 \times 10^{-3} (\text{Wb/m}^2) \times 0,002 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 0,176 \times 10^{-3} \text{ waber}$$

### 4. Rancangan Kumputan Stator 24 Alur 8 Kutub

Rancangan kumputan stator akan terkait dengan ukuran kawat dan jumlah lilitan yang harus digunakan dalam melilit alur stator. Ukuran kawat email terkait erat dengan kapasitas arus yang mampu dilalui oleh kawat tersebut. Jumlah lilitan akan terkait erat dengan besar tegangan induksi yang dihasilkan. Sesuai dengan masalah yang akan dibahas yaitu terkait dengan besar tegangan yang akan dihasilkan. Maka rancangan jumlah lilitan menggunakan persamaan 1 yaitu,

$$N = \frac{E}{4,44 \times f \times \Phi}$$

Jika tegangan yang diharapkan 220 volt AC, frekuensi 50 Hz, 8 kutub, maka jumlah lilitan terkait dengan magnet hasil pengukuran sebesar  $0,176 \times 10^{-3}$  Wb yaitu,

$$N = \frac{220}{4,44 \times 50 \times 0,176 \times 10^{-3}} = 5630 \text{ lilitan}$$

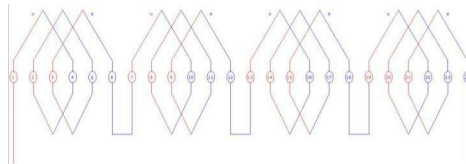
Hal ini tidak memungkinkan dilakukan dengan jumlah lilitan yang demikian besar. Dengan ukuran slot yang tersedia maka jumlah lilitan dengan ukuran kawat 0,55 yaitu 130 lilitan per dua sisi alur, sehingga jumlah lilitan keseluruhannya dalam 8 kutub 12 sisi alur sebesar  $12 \times 130 = 1560$  lilitan.

### 5. Susunan Kumputan Stator

Susunan kumputan merupakan hal yang harus diperhatikan agar tegangan induksi yang dihasilkan akan menjumlah bukan mengurangi, dan frekuensi yang dihasilkan sesuai yang diharapkan. Rancangan kumputan stator dapat dihitung sebagai berikut;

- Langkah kumputan  $G/P = 24/8 = 3$   
Artinya kumputan pertama terletak pada alur 1 dan alur 4
- Jumlah kumputan tiap kelompok =  $G/(P \times \text{fasa}) = 24/(8 \times 1) = 3$
- Jumlah sisi kumputan tiap kutub =  $2 G/P = 2 \cdot 24/8 = 6$
- Jumlah kumputan =  $2 \times 6 = 12$  kumputan

Susunan kumputan pada 24 alur stator seperti Gambar 6 berikut.



Gambar 6 Susunan kumputan stator 24 alur 8 kutub

Secara implementasi susunan kumparan dari Gambar 6 kedalam slot stator yang berjumlah 24 alur membentuk 8 kutub. Penjelasan susunan kumparan dari Gambar 6 dimana per kutub terdiri dari 4 alur, sehingga untuk 24 alur memiliki 8 kutub.



Gambar 7 Implementasi kumparan 8 kutub

Gambar 7 adalah implementasi lilitan dari Gambar 6 dengan lilitan stator 8 kutub, 24 slot, 130 lilitan per kutub, ukuran kawat 0,55 mm dengan total lilitan 8 kutub sebanyak 1560 lilitan.

Tegangan induksi yang dihasilkan untuk jumlah 1560 lilitan yaitu;

$$e = 4,44 \times 50 \times 1560 \times 0,176 \times 10^{-3} = 60,95 \text{ volt}$$

## 6. Hasil Pengujian

Hasil Pengujian generator sinkron 1 fasa dengan kumparan eksitasi 8 kutub dengan rangkaian pengujian seperti Gambar 1 sebagai berikut;

Tabel 4  $V_f = 100 \text{ volt}$ ,  $I_f = 1,12 \text{ A}$  dengan variasi putaran pada beban 25 W

Putaran (RPM)	Tegangan Generator (Volt)
200	18,5
300	26
400	33
500	41
600	48
700	57
750	61
800	64
900	72
1000	80
1100	87
1200	95
1300	102
1400	111
1500	120

Hasil pengujian Tabel 4 dilakukan dengan mengubah putaran generator dari 200 RPM sampai dengan 1500 RPM, sementara tegangan eksitasi kumparan rotor pembangkit magnet diberikan tetap pada tegangan 100 volt, Generator diberi beban sebesar 25 watt. Hasil pengukuran

tegangan generator yang dihasilkan meningkat seiring meningkatnya putaran yang diberikan. Pada putaran untuk mendapatkan frekuensi 50 Hz yaitu pada 750 RPM tegangan yang dihasilkan sebesar 61 volt.

Tabel 5 Putaran 750 RPM, variasi tegangan eksitasi pada beban 25 W

Tegangan eksitasi (Volt)	Arus eksitasi (A)	Tegangan generator (Volt)
10	0.14	2
20	0.3	14
30	0.45	21
40	0.61	24
50	0.76	37
60	0.92	44
70	1.05	51
80	1.18	57
90	1.3	59
100	1.43	69
110	1.53	73
120	1.62	77

Tabel 5 dapat dijelaskan, dimana pengujian dilakukan dengan menjaga putaran generator tetap pada 750 RPM. Selanjutnya divariasikan tegangan eksitasi untuk melihat tegangan yang dihasilkan oleh generator pada beban 25 watt. Hasil pengujian tersebut, dinyatakan meningkatnya magnet eksitasi dengan menaikkan tegangan pada kumparan eksitasi maka meningkat tegangan yang dihasilkan oleh generator.

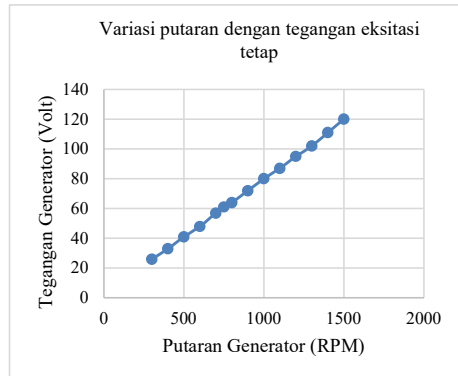
Tabel 6 Variasi beban pada 750 RPM dengan tegangan eksitasi 100 volt

Beban (Watt)	Tegangan generator (Volt)
25	61
65	52
165	29
205	23
215	21
240	18

Pada Tabel 6 dapat dijelaskan, pengujian dilakukan pada generator dengan kumparan eksitasi, dimana putaran dijaga tetap 750 RPM, dan generator diberikan beban variasi untuk melihat tegangan yang dihasilkan oleh generator. Hasil pengukuran ternyata tegangan menurun dengan bertambahnya beban generator.

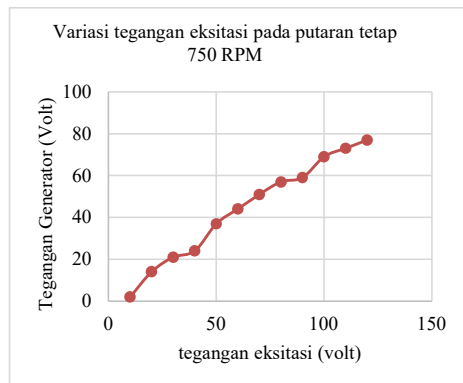
## 5. Karakteristik generator

Karakteristik generator kondisi divariasikan putaran meningkat dengan menjaga tegangan eksitasi tetap, maka generator menghasilkan tegangan yang meningkat seperti Gambar 8.



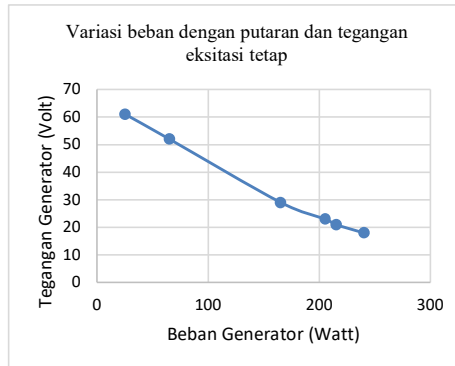
Gambar 8 Karakteristik tegangan generator terhadap putaran

Karakteristik generator kondisi divariasikan tegangan eksitasi meningkat dengan menjaga putaran tetap, maka generator menghasilkan tegangan yang meningkat seperti Gambar 9.



Gambar 9 Karakteristik Tegangan generator terhadap tegangan eksitasi

Karakteristik generator kondisi divariasikan beban meningkat dengan menjaga tegangan eksitasi dan putaran tetap, maka generator menghasilkan tegangan menurun seperti Gambar 10.



Gambar 10 Karakteristik tegangan generator terhadap pembebanan

#### IV. KESIMPULAN

1. Generator sinkron 1 fasa dengan inti rotor sebagai sepatu kutub terbuat dari lempengan plate trafo dengan ukuran 2x10 cm pada shaft rotor dengan ukuran diameter 2,5 cm dan panjang 32,5 cm. Kumpanan rotor penuh dengan kawat email diameter 0,35 mm sebanyak 250 lilitan. Kumpanan stator penuh dengan kawat email diameter 0,55 mm sebanyak 130 lilitan per alur serta membentuk 8 kutub.
2. Besar magnet kumpanan eksitasi setiap kutubnya pada arus 1,412 A, 140 volt dengan ukuran kawat 0,35 yang melebihi kapotasitanya dan menghasilkan rapat fluks magnet sebesar 88 mTesla.
3. Tegangan generator kondisi diberi tegangan eksitasi 100 volt dengan arus 1,12 ampere menghasilkan rapat fluks magnet sebesar 77,59 mTesla sebesar 61 volt pada beban 25 watt. Tegangan generator meningkat kondisi meningkatnya tegangan eksitasi kumpanan kutub rotor.
4. Besar daya yang dihasilkan generator 25 watt pada tegangan 61 volt, dan 240 watt pada tegangan 18 volt.
5. Tegangan dan daya listrik tidak tercapai dipengaruhi oleh jumlah lilitan kutub rotor, diameter kawat yang digunakan, luas inti kutub rotor dan jumlah lilitan stator. Nilai tersebut seharusnya 322 lilitan dengan ukuran kawat sebesar 0,7 mm, dan luas inti kutub rotor dengan ukuran 10cmx13cm dan jumlah lilitan stator sebesar 5630 lilitan.

#### REFERENSI

- [1] Heni Krisdiantoro, dkk. *Unjuk Kerja Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) 3 Fasa Fluks Radial dari Modifikasi Motor Induksi*, Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEI)
- [2] Deni Arianto Barus, 2022. *Analisa modifikasi motor induksi menjadi Permanent Magnet Synchronous Generator tiga fasa dengan*

Menggunakan Finite Element Method (FEM), Universitas Medan Area.

- [3] Ely Purwanto, 2020, *Pemodifikasian Motor Listrik Induksi Sebagai Generator Magnet Permanen Rpm Rendah*, Institut Agama Islam Negeri Palangka Raya.
- [4] Muhammad Irfan, Erwin Erwin dan Slamet Wiyono, 2021, *Sultan Wind Turbine V-5 Permanent Magnet Synchronous Generator Design*, Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi.
- [5] Geoff Klemperer and Isidor Kerszenbaum, 2004, *Operation and Maintenance of Large Turbo Generators*, ISBN 0-471-61447-5 Copyright © John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Zuriman Anthony, 2018, *Mesin Listrik Dasar*, ITP Press Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang 25143 Sumatera Barat, Indonesia, ISBN: 978-602-70570-8-1
- [7] Ion Boldea, 2006, *Synchronous Generators*, The Electric Generators Handbook, Polytechnical Institute Timisoara, Romania.
- [8] S. Farina, R.N. Firdaus, M. S. Ahmad, A. Jidin, T. Sutikno, 2018, *Winding Arrangement of a New Type Hollow Rotor BLDC Motor*, International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), Vol. 9, No. 3, September 2018, pp. 933-946, ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v9.i3.pp933-946.
- [9] Anizar Indriani, 2015, *Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial*, Volume 9, No. 2 ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro.
- [10] Guangtao Zhang\*, Junyong Wu and Liangliang Hao, 2017, *Fast Calculation Model and Theoretical Analysis of Rotor Unbalanced Magnetic Pull for Inter-Turn Short Circuit of Field Windings of Non-Salient Pole Generators*, School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China
- [11] Thiago de Paula Machado Bazzo, Vinicius de Oliveira Moura and Renato Carlson, 2021, *Step-by-Step Procedure to Perform Preliminary Designs of Salient-Pole Synchronous Generators*, Energies 2021, 14, 4989.
- [12] Hyo-Seob Shin , Do-Yun Kwon , Jong-Hyeon Woo , Hoon-Ki Lee and Jang-Yong Choi , 2021, *Prediction of Power Generation Performance of Wound Rotor Synchronous Generator Using Nonlinear Magnetic Equivalent Circuit Method*, Energies 2021,14, 6190. <https://doi.org/10.3390/en14196190>  
<https://www.mdpi.com/journal/energies>.
- [13] Saurav Basnet, 2007, *Development Of Salient Pole Rotor For Conventional Automotive And Aircraft Alternator To Increase Reliability*, Bachelor's of Engineering, Kathmandu University

Telah Diformat: Spasi Sebelum: 0 pt, Setelah: 0 pt

Telah Diformat: Spasi Sebelum: 0 pt, Setelah: 0 pt