

Studi Karakteristik Luar Dan Efisiensi Generator Dc Penguat Terpisah Terhadap Perubahan Beban Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Logic

Muddin Martua¹, David Setiawan², Hazra Yuwendius³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: Muddinmartua@gmail.com¹, dsetia@unilak.ac.id², hazra_yuwendius@unilak.ac.id³

Abstract

A DC generator is a dynamic electrical system that converts mechanical energy into electrical energy. A free and separate excitation type DC generator is a generator whose field winding can be connected to a DC source. The power source is independent of the engine. The DC voltage field coils mounted on the form of resistance R_f will generate currents I_f and cause flux on both poles. The induced voltage will be generated in the generator. The load characteristics of a DC generator show the relationship between the terminal voltage V_t and the field current I_f when the generator is loaded. When the generator is loaded, a load current will flow I_L . In this study, the calculation method used is fuzzy logic, Mamdani. The results obtained when loaded with a field current of 1.2 Amp measured a clamping voltage of 123.5 Volt with a load of 100 watts. When 1.1 Amp lowered the current, the clamping voltage decreased to 120.6 Volt with a load of 100 watts. In comparison, the results of fuzzy logic in 1.2 Amp field current-induced voltage is 128 Volts with a load of 100 watts, so the average percentage difference is 6.74%. To calculate efficiency at a field current of 1.2 Amp load of 100 watts, the resulting efficiency is 44.22%, the greater the load, the smaller the efficiency value. While the efficiency results generated using fuzzy logic are 43.9% with a field current of 1.2 Amp and a load of 100 watts, the average value of the difference is 1.17%.

Keywords: DC Generator, Field Voltage, Induction Voltage, Efficiency, Fuzzy Logic

Abstrak

Generator DC merupakan suatu sistem listrik dinamis yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator DC tipe eksitasi bebas dan terpisah adalah generator yang lilitan medannya dapat dihubungkan kesumber DC sehingga sumber listrik tidak bergantung dari mesin. Tegangan DC yang dipasangkan pada kumparan medan berupa tahanan R_f akan menghasilkan arus I_f dan menimbulkan fluks pada kedua kutub. Tegangan induksi akan dibangkitkan pada generator. Pada karakteristik berbeban sebuah generator DC menunjukkan bagaimana hubungan antara tegangan terminal V_t dan arus medan I_f ketika generator dibebani. Bila generator dibebani maka akan mengalir arus beban sebesar I_L . Pada penelitian ini, metoda perhitungan yang digunakan adalah logika fuzzy logic mamdani. Hasil yang diperoleh saat berbeban arus medan 1,2 Amp terukur tegangan jepit 123,5 Volt dengan beban 100 watt, pada saat arus diturunkan 1,1 Amp tegangan jepit menurun menjadi 120,6 Volt dengan beban 100 watt, sedangkan hasil dari fuzzy logic pada arus medan 1,2 Amp tegangan induksi yang dihasilkan 128 Volt dengan beban 100 watt, sehingga persentase rata-rata selisihnya sebesar 6,74 %. Untuk hasil perhitungan efisiensi pada arus medan 1,2 Amp beban 100 watt efisiensi yang dihasilkan sebesar 44,22% semakin besar beban semakin kecil nilai efisiensi. Sedangkan hasil efisiensi yang dihasilkan menggunakan fuzzy logic sebesar 43,9% dengan arus medan 1,2 Amp dan beban 100 watt, untuk nilai rata-rata selisih nya sebesar 1,17%.

Kata Kunci: Generator DC, Tegangan Medan, Tegangan Induksi, Efisiensi, Fuzzy Logic

1. PENDAHULUAN

Generator DC adalah mesin arus searah yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Secara garis besar generator DC tidak jauh berbeda dengan motor DC kecuali pada arah aliran daya. Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator DC dapat di kelompokkan menjadi dua yaitu generator berpenguatan bebas dan generator berpenguatan sendiri.

Generator DC berpenguatan bebas adalah generator yang arus medannya di suplai melalui sumber DC eksternal. Tegangan searah yang dipasangkan pada kumparan medan yang mempunyai tahanan R_f akan menghasilkan arus I_f dan menimbulkan fluks pada kedua kutub. Tegangan induksi ini dibangkitkan pada generator. Pada karakteristik berbeban sebuah generator DC menunjukkan bagaimana hubungan antara tegangan terminal V_t dengan arus medan I_f ketika generator dibebani. Apabila generator dibebani maka akan mengalir arus beban sebesar I_L .

Di generator DC penguatan bebas ini Tegangan terminal V_t dapat berkurang akibat efek demagnetisasi dari reaksi jangkar. Pengurangan dapat di atasi dengan peningkatan arus medan yang sesuai. Tegangan terminal V_t akan lebih kecil daripada ggl E yang dibangkitkan, sebesar $I_a R_a$, dimana R_a merupakan resistansi rangkaian

jangkar. Penurunan tegangan ini dapat diketahui suatu segitiga yang disebut segitiga portier, yang sisinya sebanding Ia. Dikarenakan Ia konstan maka segitiga ini konstan dalam batas-batas belum jenuh. Menurunnya tegangan terminal V_t ini akan menyebabkan arus medan I_f turun dan E_a juga akan mengalami penurunan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya arus, tegangan, perubahan temperatur dan efisiensi pada generator DC penguat terpisah saat kondisi beban yang berubah-ubah, dan membandingkan data hasil perhitungan efisiensi dengan *Fuzzy Logic*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Generator DC

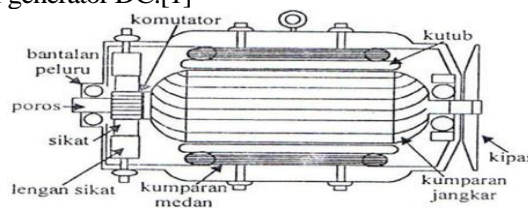
Generator DC merupakan suatu mesin DC yang dapat menghasilkan daya listrik arus searah (DC) dengan cara merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara energi magnet. Pada generator DC, energi mekanik yang berasal dari penggerak mula yang dikopel dengan rotor. Penggerak mula ini dapat berasal dari tenaga uap panas, tenaga potensial air, motor diesel, dan lain sebagainya. Energi listrik keluaran generator dikeluarkan pada kumparan jangkar generator yang juga terdapat pada rotornya. Generator DC menghasilkan listrik arus searah dalam penggunaannya, generator DC ini kadang-kadang ditempatkan secara tetap atau dalam keadaan bergerak bersama dengan bebanya. Generator DC yang diletakkan secara tetap contohnya adalah generator yang dipergunakan untuk pengisian accu pada perusahaan pengisi accu dan generator yang ditempatkan secara bergerak dengan bebanya misalnya pada pusat-pusat tenaga listrik arus bolak-balik, dimana generator DC ini berfungsi sebagai sumber eksitasi magnet (*exciter*) pada generator utama pembangkit listrik arus bolak balik.[1]

2.2. Kontruksi Generator DC

Pada dasarnya generator DC dibuat menggunakan dua jenis magnet penguat, yaitu :

1. Penguat elektromagnetik
2. Magnet permanent/ magnet tetap

Dengan 4-kutub rotor, regulator tegangan digital, proteksi terhadap beban yang lebih, *starter* eksitasi, penyearah, *bearing* dan rumah generator atau casis, serta bagian rotor. Gambar berikut ini menunjukkan Gambar potongan melintang konstruksi generator DC.[1]



Gambar 1. Konstruksi Generator DC

Generator DC dibagi dua bagian, yang pertama stator bagian mesin DC yang diam dan yang kedua bagian rotor bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari: komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.[1]

2.3. Prinsip Kerja Generator DC

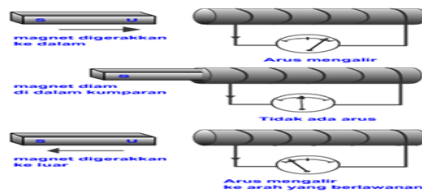
Prinsip kerja generator dapat dijelaskan melalui percobaan yang dilakukan oleh Faraday seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Ujung-ujung kawat penghantar yang membentuk kumparan dihubungkan dengan galvanometer.[1]

Pada saat batang magnet didorongkan ke dalam kumparan, maka jarum galvanometer bergerak dan akan kembali diam bila batang magnet tadi dihentikan mendorongnya. Kemudian batang magnet diubah arah geraknya (ditarik) jarum galvanometer juga bergerak sesaat yang arahnya berlawanan dari gerakan sebelumnya dan kembali diam seperti semula bila batang magnet dihentikan menariknya. Bergeraknya jarum tersebut (pada Gambar 2) disebabkan karena timbulnya gaya gerak listrik (GGL) induksi pada kumparan yang besar GGL induksi rata-rata (E) dapat dinyatakan seperti persamaan (1) sebagai berikut: [1]

$$E = -N(d\phi / dt) \text{ Volt} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

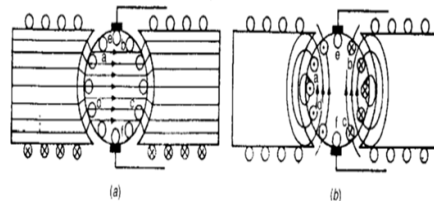
- N = banyaknya lilitan kumparan
- $\Delta\Phi = d\Phi$ = perubahan pada fluks magnet (Weber)
- $\Delta t = dt$ = perubahan pada waktu (detik)



Gambar 2. Prinsip Kerja Generator Ditinjau Melalui Percobaan Faraday

2.4. Reaksi Jangkar Generator DC

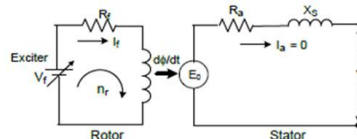
Suatu fluks dapat menembus konduktor jangkar pada saat generator tidak bebani. Fluks ini adalah fluks utama, pada saat generator dibebani timbullah arus jangkar. Adanya arus jangkar ini tidak ada arus medan yang mengalir dalam kumparan medan. Fluks ini digambarkan seperti pada Gambar 3 berikut :[2]



Gambar 3. Fluks Generator DC

2.5. Analisa Rangkaian Generator DC

Pada saat Memutar generator (rpm) pada kecepatan DC kemudian diberi arus medan, maka tegangan akan terinduksi pada kumparan stator. Oleh sebab itu generator ini disebut generator sinkron atau bisa disebut juga dengan Alternator.[2]



Gambar 4. Rangkaian ekivalen Rotor Stator

Pada saat keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, oleh sebab itu tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks bisa dihasilkan oleh arus medan. Apabila arus medan diubah-ubah nilainya, akan diperoleh tegangan seperti pada Gambar 4 yang memunculkan kurva pemagnetan. Pada celah udara kurva pemagnetan adalah garis lurus.[2]

Rumus mendapatkan arus medan pada kumparan rotor:[3]

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- If = Arus eksitasi (Ampere)
- Vf = Tegangan eksitasi (Volt)
- Rf = Tahanan kumparan pada Rotor (Ohm)

Rumus tegangan induksi yang dihasilkan pada kumparan stator seperti persamaan 3 :[3]

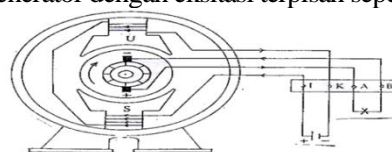
$$E = K_f \times I_f \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- Kf = Konstanta kumparan rotor
- If = Arus eksitasi (Ampere)

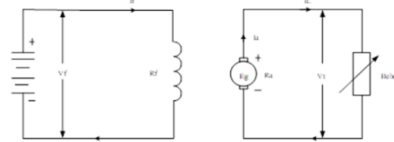
2.6. Generator DC Eksitasi Terpisah

Mempunyai sumber arus ataupun tagangan DC pemagnetan yang tidak terpengaruh oleh keluaran generator itu sendiri. Bentuk rangkaian listrik generator dengan eksitasi terpisah seperti pada Gambar 5.[1]



Gambar 5. Rangkaian Listrik Generator Eksitasi Terpisah.

Rangkaian pendekatan dari Gambar 5 ini diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Ekvivalen Generator DC Eksitasi Terpisah

Dari gambar 6, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$E_g = E_a = V_t + I_a \times R_a + \Delta V_{si} \dots\dots\dots (4)$$

Atau dengan mengabaikan drop tegangan pada sikat:[4]

$$E_g = E_a = V_t + I_a R_a \dots\dots\dots (5)$$

$$V_f = I_f \times R_f \dots\dots\dots (6)$$

$$I_a = I_L = P_{output} \dots\dots\dots (7)$$

$$P_{output} = V_t \times I_L \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

Eg = Ea = tegangan saat dibangkitkan oleh jangkar (Volt)

Vt = Tegangan Pada Terminal Generator Dc (Volt)

Ia = Arus Jangkar (Ampere)

IL = Arus Beban (Ampere)

If = Em / Rm = Arus Eksitasi Medan Magnet (Ampere)

Vf = Tegangan Medan Generator Dc (Volt)

Rf = Tahanan Lilitan Medan (Ohm)

Ra = Tahanan Lilitan Jangkar (Ohm)

Δvsi = Kerugian / Drop Tegangan Pada Sikat (Volt)

Poutput = Daya keluaran (Watt).

2.7. Persentase Error Generator DC

Untuk mengetahui persentase error pada generator DC dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:[1]

$$\% Error = \frac{I_f (Pengukuran) - I_f (Perhitungan)}{I_f (Pengukuran)} \times 100\%$$

Dan

$$\% Error = \frac{E_a - V_t}{V_t} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

% Error = Persentase Error (%)

If (pengukuran) = Arus Medan (pengukuran) (Ampere)

If (perhitungan) = Arus Medan (perhitungan) (Ampere)

Ea = Tegangan saat dibangkitkan oleh jangkar (Volt)

Vt = Tegangan Pada Terminal Generator Dc (Volt)

2.8. Efisiensi Generator DC

Efisiensi suatu generator merupakan perbandingan antara keluaran generator terhadap masukannya. Makin tinggi efisiensi dari sebuah generator, maka generator tersebut dikatakan makin bagus karena perbandingan daya masukan hampir sama dengan daya keluarannya. Daya keluaran dari suatu generator merupakan daya beban yang mampu dikopel generator pada terminalnya. Sedangkan daya masukan generator merupakan daya awal proses terjadinya energi pada generator. Daya awal pada generator ini adalah daya mekanik yang digunakan untuk memutar rotor generator.[1]

$$P_s = V_t \times I_a \dots\dots\dots (10)$$

$$P_{in} = P_s + (I_{f2} \times R_f) \dots\dots\dots (11)$$

$$P_{out} = I_{a2} \times R_L \dots\dots\dots (12)$$

$$\eta = \frac{P_{out} \times 100\%}{P_{in}} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan :

η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya masukan (Watt)

E_g = E_a = tegangan yang dibangkitkan oleh jangkar (Volt)

V_t = Tegangan Pada Terminal Generator Dc (Volt)

I_a = Arus Jangkar (Ampere)

I_L = Arus Beban (Ampere)

2.9. Faktor Yang Mempengaruhi Temperatur

Temperatur kerja dari suatu generator sangat erat hubungannya dengan umur generator itu sendiri, disebabkan keausan dari isolasinya adalah fungsi waktu dan temperatur. Keausan adalah gejala kimiawi yang mengakibatkan adanya oksidasi lambat dan pengerapuhan yang dapat terjadinya penyusutan mekanis dan kekuatan listrik menurun. Penyebab naiknya temperatur dapat disebabkan oleh rugi-rugi yang merupakan factor utama dalam menentukan umur generator. Maka dari itu temperatur pada generator harus dibatasi, dan tidak dianjurkan melebihi batas yang sudah ditentukan supaya umur generator menjadi panjang.[5]

Generator harus mampu mensuplai beban di dalam batas suhu. Generator dinilai untuk suhu lingkungan sekitar maksimum 40°C pada beban penuh yang terkait dengan isolasi mesin, laminasi baja dan gulungan tembaga. sistem isolasi harus mempertahankan generator diatas rentang suhu operasi untuk melindungi masa pakai mesin.

Aliran arus beban melalui belitan tembaga yang memiliki hambatan listrik menyebabkan rugi-rugi daya yang menimbulkan panas. Hal ini menghasilkan peningkatan belitan dan isolasi suhu, yang berarti bahwa hambatan belitan juga akan meningkat. Bahan isolasi dapat menjaga kemampuannya untuk mempertahankan. Isolasi yang diterima seumur hidup adalah 100.000 jam operasi terus menerus di suhu maksimum yang diizinkan ditentukan.[6]

2.10. Metoda Fuzzy Logic

Fuzzy Logic diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965, sebagai solusi matematis dalam mengetahui keadaan yang tidak menentu (samar) pada kehidupan sehari-hari. Pemikiran ini dimulai karena kenyataan di dunia ini suatu kondisi sering dipandang dengan ketidakpastian secara kuantitatif, dimisalkan panas, dingin, dan cepat. Dengan menggunakan *Fuzzy Logic*, dapat diketahui informasi yang samar tersebut, lalu memanipulasinya dan menarik langsung kesimpulan dari informasi itu sendiri.[7]

Fuzzy Logic ini dimulai dari teori *Fuzzy Set* yang dikembangkan dari teori himpunan klasik. *Fuzzy Logic* merupakan salah satu cara memetakan suatu ruangan masukan kedalam suatu ruangan keluaran. *Fuzzy* bisa juga disebut kabur, samar, dan tidak jelas. Pada *Fuzzy Logic*, suatu kondisi dapat dipenuhi lebih dari satu kategori yang mempunyai tingkat derajat keanggotaan tertentu. Sangat dibutuhkan suatu saluran tertentu yang wajib ditepati dalam mengambil keputusan. Pada teori *Fuzzy Logic* dikenal himpunan *Fuzzy Set*, yang artinya mengelompokkan sesuatu berdasarkan variabel Bahasa, yang dinyatakan pada fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan pada suatu himpunan *Fuzzy Logic* itu sendiri bernilai antara 0 sampai 1.[8]

Fuzzy Inference System merupakan suatu sistem yang bisa membuat penalaran dengan prinsip yang mirip seperti manusia dalam melakukan penalaran dengan nalurinya. Ada beberapa macam FIS yang kita kenal seperti Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto. FIS yang sangat mudah kita pahami merupakan FIS Mamdani. Metoda Mamdani ini kita kenali dengan metoda Min-Max yang pada tahun 1975 diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani. FIS ini bekerja berdasarkan aturan-aturan yang berlaku untuk dimasuki analisa matematik. Untuk metodanya evaluasi rule yang sangat banyak diminati merupakan *Inference Min-Max*. Pada *Inference Min-Max*, untuk solusi himpunan *Fuzzy* yang didapat kemudian mengambil nilai maksimal aturan, lalu dipakai untuk memodifikasi daerah *Fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output*. [9]

Mean Absolute Percentage Error (MAPE), merupakan suatu metode untuk melakukan perhitungan dengan menggunakan perbedaan antara data asli dan data hasil perkiraan. Perbedaan itu dibenarkan, lalu dihitung dalam bentuk persentase terhadap data yang aslinya. Dari hasil persentase itu kita dapatkan nilai *mean* nya. Untuk suatu model memiliki kinerja sangat bagus apabila nilai MAPE posisi dibawah 10%, dan berada diantara 10% - 20%. [10]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Spesifikasi Data Generator

Spesifikasi Generator DC 3 fasa yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 :

Tabel 1. Spesifikasi Generator

URAIAN	DATA
Type	OSCT
Negara Pembuat	China
Mode Eksitasi	Shunt
Serial Number	6305ZZ
Kecepatan	1750 RPM
House Power	3 HP
Medan Magnet Armatur	150 V
Arus Medan Magnet	18,73 A
Tegangan	100 V
Arus	1,32 A

3.2. Pengukuran Kumputan Jangkar dan Medan Generator DC Eksitasi Terpisah

Tabel 2. Data Pengukuran Kumputan Generator DC Eksitasi Terpisah

Kumputan Jangkar	Kumputan Medan
$R_a = 20,1 \text{ Ohm}$	$R_f = 77,2 \text{ Ohm}$
$L = 13,58 \text{ mH}$	$L = 5426 \text{ mH}$

3.3. Perhitungan Tegangan Medan Generator Tanpa Beban Kecepatan Konstan (1650 rpm)

Dengan kecepatan konstan 1650 rpm dan tahanan medan sebesar 77,2 ohm berdasarkan pengukuran untuk menghitung tegangan medan (I_f) dapat menggunakan persamaan (2) sebagai berikut :

$$I_f = 1,2 \text{ A}$$

$$R_f = 77,2 \text{ } \Omega$$

Maka Arus medan (I_f) adalah :

$$I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

$$1,2 = \frac{V_f}{77,2 \text{ } \Omega}$$

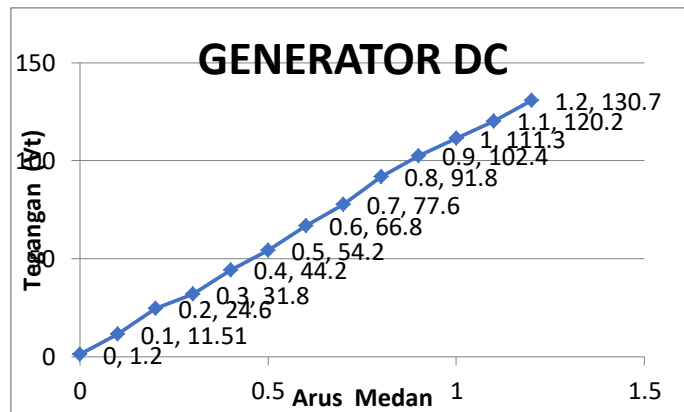
$$V_f = 92,64 \text{ V}$$

Sehingga untuk hasil perhitungan dapat disalinkan seperti pada Tabel 3. berikut :

Tabel 3. Perhitungan Arus Medan Generator Tanpa Beban Dengan Kecepatan 1650 (rpm)

No	Arus Medan (If)	Tegangan Medan (Vf) Pengukuran	Tegangan Medan (Vf) Perhitungan	Tegangan Jepit (Vt)
1	1,2	79	92,64	130,7
2	1,1	71,4	84,92	120,2
3	1	64,7	77,2	111,3
4	0,9	58,7	69,48	102,4
5	0,8	51,6	61,76	91,8
6	0,7	45,7	54,04	77,6
7	0,6	36,4	46,32	66,8
8	0,5	29,2	38,6	54,2
9	0,4	23,4	30,88	44,2
10	0,3	16,6	23,16	31,8
11	0,2	13,27	15,44	24,6
12	0,1	5,4	7,72	11,51
13	0	2,9	0	1,2

Hasil perhitungan tanpa beban pada tegangan jepit terhadap perubahan arus medan dari data tabel 3. digambarkan dengan Grafik seperti pada Gambar 7. berikut :



Gambar 7. Grafik Perubahan Tegangan Jepit Terhadap Perubahan Arus Medan Tanpa Beban Kecepatan 1650 rpm

3.4.Perhitungan Tegangan Medan Generator Tanpa beban Kecepatan Konstan (1500 rpm)

Dengan kecepatan konstan 1500 rpm dan tahanan medan sebesar 77,2 ohm berdasarkan pengukuran untuk menghitung tegangan medan (I_f) dapat menggunakan persamaan (2) sebagai berikut :

$$I_f = 1,2 \text{ A}$$

$$R_f = 77,2 \Omega$$

Maka Arus medan I_f adalah :

$$I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

$$1,2 = \frac{V_f}{77,2 \Omega}$$

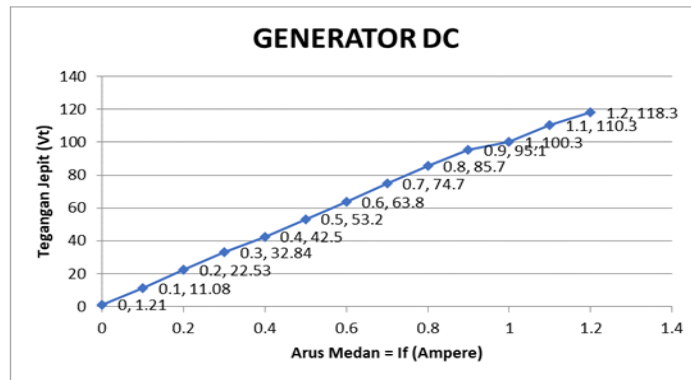
$$V_f = 92,64 \text{ V}$$

Sehingga untuk hasil perhitungan dapat disalinkan seperti pada Tabel 4. berikut :

Tabel 4. Perhitungan Arus Medan Generator Tanpa Beban Dengan Kecepatan 1500 (rpm)

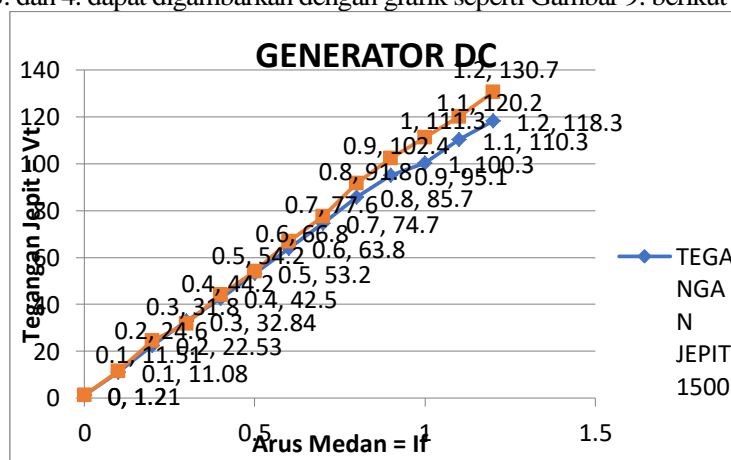
No	Arus Medan (If)	Tegangan Medan (Vf) Pengukuran	Tegangan Medan (Vf) Perhitungan	Tegangan Jepit (Vt)
1	1,2	78,7	92,64	118,3
2	1,1	72,8	84,92	110,3
3	1	64,3	77,2	100,3
4	0,9	60,6	69,48	95,1
5	0,8	54,1	61,76	85,7
6	0,7	45,9	54,04	74,7
7	0,6	38,88	46,32	63,8
8	0,5	31,76	38,6	53,2
9	0,4	25,39	30,88	42,5
10	0,3	19,06	23,16	32,84
11	0,2	12,74	15,44	22,53
12	0,1	7,33	7,72	11,08
13	0	2,2	0	1,21

Hasil perhitungan tanpa beban pada tegangan jepit terhadap perubahan arus medan dari data tabel 4. digambarkan dengan Grafik seperti pada Gambar 8. berikut :



Gambar 8. Grafik Perubahan Tegangan Jepit Terhadap Perubahan Arus Medan Tanpa Beban Kecepatan 1500 rpm

Sehingga untuk hasil perbandingan tegangan jepit beban nol pada arus medan pada kecepatan 1650 rpm dan 1500 rpm dari tabel 3. dan 4. dapat digambarkan dengan grafik seperti Gambar 9. berikut :



Gambar 9. Grafik Perbandingan Perubahan Arus Medan Terhadap Tegangan Jepit 1650 rpm dan 1500 rpm

3.5. Perhitungan Tegangan Induksi Armature Generator DC Beban Resistif (1650 rpm)

Hasil pengukuran pada tahanan jangkar sebesar 20,1 ohm dan arus medan (If) sebesar 1,2 Amp dengan rpm konstan 1650 dan beban yang berubah-ubah, maka untuk menghitung tegangan induksi armature pada saat berbeban menggunakan persamaan (5) maka :

Untuk hasil perhitungan pada Arus Medan (If) 1,2 Amp dan beban 100 Watt, adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a)$$

$$E_a = 123,5 + (0,36 \times 20,1)$$

$$= 130,736 \text{ V}$$

Untuk hasil perhitungan pada Arus Medan (If) 1,2 Amp dan beban 200 Watt, adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a)$$

$$E_a = 121,2 + (0,66 \times 20,1)$$

$$= 134,466 \text{ V}$$

Untuk hasil perhitungan pada Arus Medan (If) 1,2 Amp dan beban 300 Watt, adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a)$$

$$E_a = 119,7 + (0,98 \times 20,1)$$

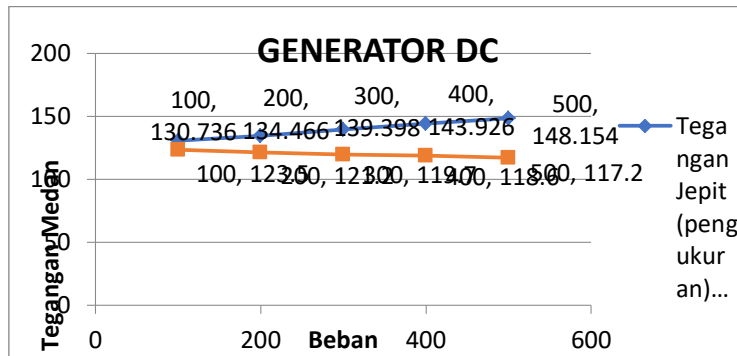
$$= 139,398 \text{ V}$$

Sehingga untuk hasil perhitungan dapat disalin seperti pada Tabel 5. berikut :

Tabel 5. Perhitungan Tegangan Induksi Armature Generator Beban Resistif (If = 1,2 Amp)

Hasil perhitungan tegangan induksi armature pada beban resistif yang berubah-ubah dari data tabel 5. digambarkan dengan Grafik seperti pada Gambar 10. berikut :

Beban Watt	Arus Beban (Ia) A	Tegangan Jepit (pengukuran) Vt	Tegangan induksi armature (perhitungan) Ea
100	0,36	123,5	130,736
200	0,66	121,2	134,466
300	0,98	119,7	139,398
400	1,26	118,6	143,926
500	1,54	117,2	148,154



Gambar 10. Grafik Perbandingan Tegangan Induksi Dan Tegangan Jepit Beban Resistif 1650 rpm
3.6. Perhitungan Tegangan Induksi Armature Generator DC Beban Resistif (1500 rpm)

Hasil pengukuran pada tahanan jangkar sebesar 20,1 ohm dan arus medan (If) sebesar 1,2 Amp dengan rpm konstan 1500 dan beban yang berubah-ubah, maka untuk menghitung tegangan induksi armature pada saat berbeban menggunakan persamaan (5) maka :

Untuk hasil perhitungan pada Arus Medan (If) 1,2 Amp dan beban 100 Watt, adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a)$$

$$E_a = 113 + (0,33 \times 20,1)$$

$$= 119,633 \text{ V}$$

Untuk hasil perhitungan pada Arus Medan (If) 1,2 Amp dan beban 200 Watt, adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a)$$

$$E_a = 111,5 + (0,63 \times 20,1)$$

$$= 124,163 \text{ V}$$

Untuk hasil perhitungan pada Arus Medan (If) 1,2 Amp dan beban 300 Watt, adalah :

$$E_a = V_t + (I_a \times R_a)$$

$$E_a = 110,1 + (0,92 \times 20,1)$$

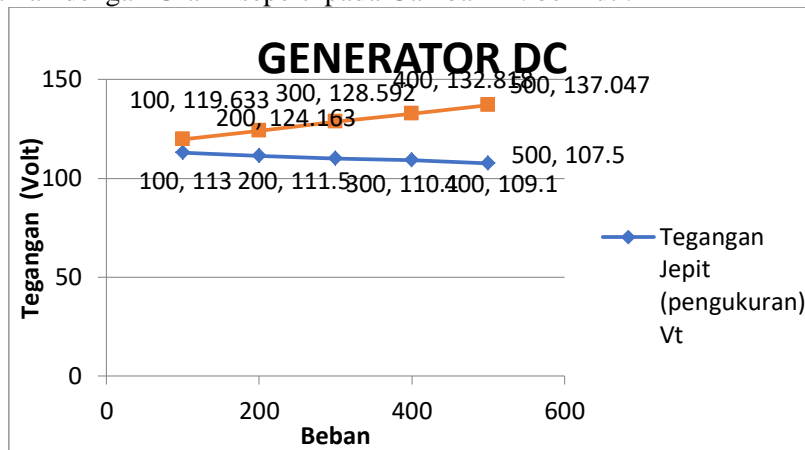
$$= 128,592 \text{ V}$$

Sehingga untuk hasil perhitungan dapat disalin seperti pada Tabel 6. berikut :

Tabel 6. Perhitungan Tegangan Induksi Armature Generator Beban Resistif (If = 1,2 Amp)

Beban Watt	Arus Beban (Ia) A	Tegangan Jepit (pengukuran) Vt	Tegangan induksi armature (perhitungan) Ea
100	0,33	113	119,633
200	0,63	111,5	124,163
300	0,92	110,1	128,592
400	1,18	109,1	132,818
500	1,47	107,5	137,047

Hasil perhitungan tegangan induksi armature pada beban resistif yang berubah-ubah dari data tabel 6. digambarkan dengan Grafik seperti pada Gambar 11. berikut :



Gambar 11. Grafik Perbandingan Tegangan Induksi Dan Tegangan Jepit Beban Resistif 1500 rpm
3.7.Perhitungan Efisiensi Generator DC Eskitasi Terpisah Beban Resistif Kecepatan 1650 rpm

Untuk pengukuran konstan pada arus medan 1,2 Amp dan tegangan medan (Vf) 76 Volt seperti pada tabel 7., maka untuk menghitung efisiensi pada saat beban resistif menggunakan persamaan (13) berikut

$$I_L = 0,56 \text{ A}$$

$$I_a = 2,3 \text{ A}$$

Untuk menghitung nilai daya input dan daya output dapat menggunakan persamaan (11), (12) berikut :

$$P_s = V_t \times I_a$$

$$= 123,5 \times 2,3$$

$$= 300,67 \text{ W}$$

$$P_{in} = P_s + (I_f^2 \times R_f)$$

$$= 300,67 + 1,2^2 \times 70,3$$

$$= 401,9 \text{ W}$$

$$P_{out} = I_a^2 \times R_L$$

$$= 2,3^2 \times 33,6$$

$$= 177,7 \text{ W}$$

Maka, efisiensi generator DC adalah :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{177,7}{401,9} \times 100\%$$

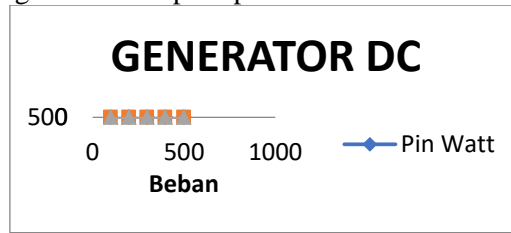
$$= 44,22\%$$

Sehingga untuk perhitungan efisiensi dengan nilai arus medan lainnya dapat disalin pada tabel 7. berikut :

Tabel 7. Hasil Perhitungan Efisiensi Beban Resistif 1650 rpm

No	Kecepatan Rpm	Beban Watt	If Amp	Ps Watt	Pin Watt	Pout Watt	Efisiensi %
1	1650	100	1,2	300,67	401,90	177,7	44,22
2	1650	200	1,2	303,49	404,72	171,2	42,29
3	1650	300	1,2	310,73	411,96	166,9	40,53
4	1650	400	1,2	317,87	419,10	163,9	39,11
5	1650	500	1,2	323,35	424,58	160,0	37,70

Hasil perhitungan daya input, daya output dan efisiensi pada beban resistif yang berubah-ubah dari data tabel 7. digambarkan dengan Grafik seperti pada Gambar 12. berikut :



Gambar 12. Grafik Daya Input, Daya Output Dan Efisiensi Generator Dc Eksitasi Terpisah Beban Resistif 1650 rpm

3.8. Perhitungan Efisiensi Generator DC Eskitasi Terpisah Beban Resistif Kecepatan 1500 rpm

Untuk pengukuran konstan pada arus medan 1,2 Amp dan tegangan medan (Vf) 78 Volt seperti pada tabel 8., maka untuk menghitung efisiensi pada saat beban resistif menggunakan persamaan (13) berikut :

$$I_L = 0,34 A$$

$$I_a = 2,1 A$$

Untuk menghitung nilai daya input dapat menggunakan persamaan (11),(12) berikut :

$$P_s = V_t \times I_a$$

$$= 119,63 \times 2,1$$

$$= 251,74 W$$

$$P_{in} = P_s + (I_f^2 \times R_f)$$

$$= 251,74 + 1,2^2 \times 70,3$$

$$= 352,97 W$$

$$P_{out} = I_a^2 \times R_L$$

$$= 2,1^2 \times 33,6$$

$$= 148,8 W$$

Maka, efisiensi generator DC adalah : $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$

$$= \frac{148,8}{352,97} \times 100\%$$

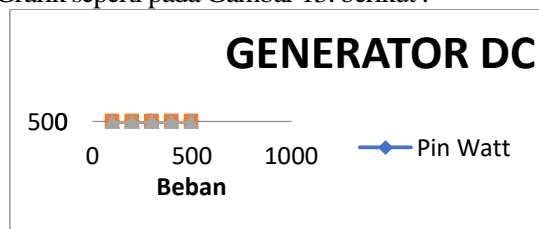
$$= 42,15\%$$

Sehingga untuk perhitungan efisiensi dengan nilai arus medan lainnya dapat disalin pada tabel 8. berikut :

Tabel 8. Hasil Perhitungan Efisiensi Beban Resistif 1500 rpm

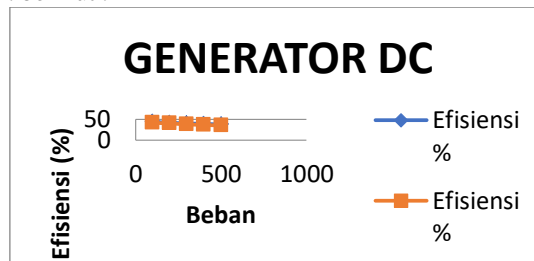
No	Kecepatan rpm	Beban Watt	If Amp	Ps Watt	Pin Watt	Pout Watt	Efisiensi %
1	1500	100	1,2	251,74	352,97	148,8	42,15
2	1500	200	1,2	257,81	359,04	144,9	40,35
3	1500	300	1,2	263,65	364,88	141,2	38,71
4	1500	400	1,2	269,84	371,07	138,7	37,38
5	1500	500	1,2	274,35	375,58	134,7	35,85

Hasil perhitungan daya input, daya output dan efisiensi pada beban resistif yang berubah-ubah dari data tabel 8. digambarkan dengan Grafik seperti pada Gambar 13. berikut :



Gambar 13. Grafik Daya Input, Daya Output Dan Efisiensi Generatro Dc Eksitasi Terpisah Beban Resistif 1500 Rpm

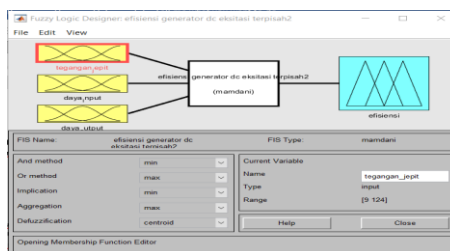
Sehingga untuk perbandingan efisiensi pada kecepatan 1650 rpm dan 1500 rpm digambarkan dengan Grafik seperti pada Gambar 14. berikut :



Gambar 14. Grafik Perbandingan Efisiensi Beban Resistif 1650 Rpm dan 1500 Rpm

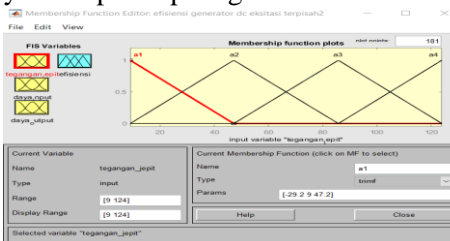
3.9. Perhitungan Efisiensi Generator DC Eskitasi Terpisah Beban Resistif Kecepatan 1650 rpm Menggunakan Fuzzy Logic

Perhitungan efisiensi menggunakan *fuzzy* Mamdani untuk memudahkan dapat dilakukan dengan bantuan software MATLAB R2007b, perancangan sistem inferensi *fuzzy* tersebut dikerjakan pada *Fuzzy Logic Toolbox*. Dari hasil program komputer untuk fungsi keanggotaan fuzzy nya adalah 3 input dan 1 output. Yang hasil nya digambarkan dibawah ini :



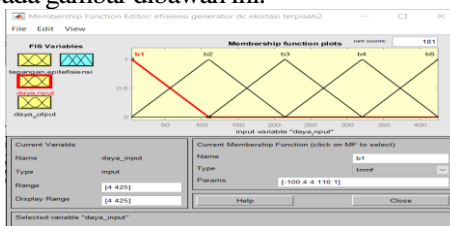
Gambar 15. Fungsi Keanggotaan Input Dan Output

Dari gambar diatas, input pertama adalah tegangan jepit untuk dibuat fungsi keanggotaan yang lebih detail, yaitu untuk fungsi keanggotaan A1,A2,A3,A4. Yang keempatnya mempunyai range antara 9 s/d 124. Untuk fungsi keanggotaan A1 tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (9 47.2), sedangkan fungsi keanggotaan A2 tipe variabel nya adalah trimf dengan parameter (9 47.2 85.8) dan fungsi keanggotaan A3 tipe variabel nya trimf dengan parameter (47.2 85.8 124) selanjutnya fungsi keanggotaan A4 tipe variabel nya trimf dengan parameter (85.8 124 162.2). Hasilnya ditampilkan pada gambar dibawah ini.



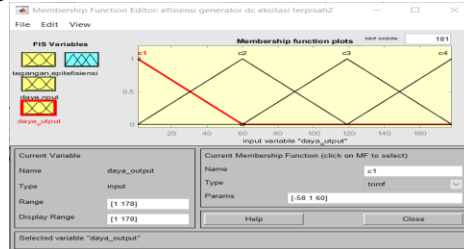
Gambar 16. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Tegangan Jepit

Input kedua adalah daya input untuk dibuat fungsi keanggotaan yang lebih detail, yaitu untuk fungsi keanggotaan B1,B2,B3,B4,B5. Yang ke lima nya mempunyai range antara 4 s/d 425. Untuk fungsi keanggotaan B1 tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (-100.4 4 110.1), sedangkan fungsi keanggotaan B2 tipe variabel nya adalah trimf dengan parameter (4 110.1 214.5), fungsi keanggotaan B3 tipe variabel nya trimf dengan parameter (110.1 214.5 320.6) dan fungsi keanggotaan B4 tipe variabel nya adalah trimf dengan parameter (214.5 320.6 425) selanjutnya fungsi keanggotaan B5 tipe variabel nya trimf dengan parameter (320.6 425 531.1).Hasilnya ditampilkan pada gambar dibawah ini.



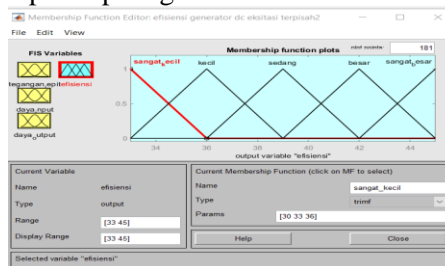
Gambar 17. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Daya Input

Input ketiga adalah daya output untuk dibuat fungsi keanggotaan yang lebih detail, yaitu untuk fungsi keanggotaan C1,C2,C3,C4. Yang keempatnya mempunyai range antara 1 s/d 178. Untuk fungsi keanggotaan C1 tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (-58 1 60), sedangkan fungsi keanggotaan C2 tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (1 60 119) dan fungsi keanggotaan C3 tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (60 119 178) selanjutnya fungsi keanggotaan C4 tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (119 178 237). Hasilnya ditampilkan pada gambar dibawah ini.



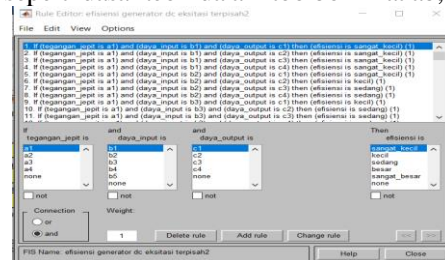
Gambar 18. Fungsi Keanggotaan Variabel Input Daya Output

Untuk output adalah efisiensi dibuat fungsi keanggotaan yang lebih detail, yaitu untuk fungsi keanggotaan Sangat kecil, Kecil, Sedang, Besar, Sangat besar. Yang ke lima nya mempunyai range antara 33 s/d 45. Untuk fungsi keanggotaan Sangat kecil tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (30 33 36), sedangkan fungsi keanggotaan Kecil tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (33 36 39), fungsi keanggotaan Sedang tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (36 39 42) dan fungsi keanggotaan Besar tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (39 42 45) selanjutnya fungsi keanggotaan Sangat besar tipe variabelnya adalah trimf dengan parameter (42 45 48). Hasilnya ditampilkan pada gambar dibawah ini.



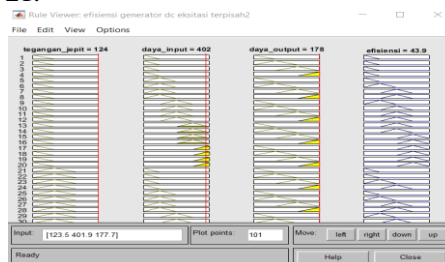
Gambar 19. Fungsi Keanggotaan Variabel Output Efisiensi

Dengan menyusun aturan *fuzzy* seperti dasar teori dalam toolbox Matlab, hasilnya adalah



Gambar 20. Aturan Fuzzy

Hasil optimasi menjalankan program dapat dilakukan dengan menggeser-geser garis vertikal pada variabel tegangan jepit, daya input dan daya output, misalkan garis vertikal pada variabel tegangan jepit digeser ke 123,5 dan garis vertical pada variabel daya input digeser ke 401,9 selanjutnya garis vertical pada variabel daya output digeser ke 177,7 maka efisiensi yang dihasilkan dengan sistem pengambilan keputusan ini adalah 43,9%. Hasil program ditampilkan pada gambar 21.



Gambar 21. Nilai Efisiensi Dengan Menggunakan *Fuzzy Logic*

Berdasarkan hasil data pengukuran maka didapatkan nilai efisiensi untuk setiap perubahan beban seperti pada gambar 21. dan tabel 9. berikut :

Tabel 9. Data Hasil Perbandingan Perhitungan Dan *Fuzzy Logic*

No	Beban Watt	Arus Medan If	Efisiensi Perhitungan	Efisiensi <i>Fuzzy Logic</i>	Kesalahan (%)
1	100	1,2	44,22	43,9	0,7
2	200	1,1	43,62	42,9	1,7
3	300	1,0	42,32	42,2	0,28
4	400	0,9	40,70	40,7	0
5	500	0,8	38,29	39,5	3,16

Data yang didapat ini digunakan sebagai pembandingan terhadap perkiraan yang dihasilkan oleh logika fuzzy. Pada Tabel 7. terlihat bahwa hasil perhitungan antara persamaan rumus dengan logika *fuzzy* tidak jauh berbeda. Nilai kesalahan rata-rata yang didapat sebesar 1,17 % yang berarti kinerja perhitungan menggunakan fuzzy sangat bagus karena nilai MAPE atau kesalahan dibawah 10%.

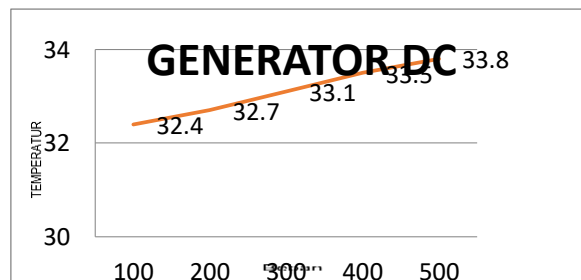
3.10. Hasil Pengukuran Temperatur Generator DC Eksitasi Terpisah Terhadap Perubahan Beban Resistif Dengan Putaran 1650 rpm Arus Medan Konstan (1,2 Amp)

Dari hasil pengukuran temperatur generator DC eksitasi terpisah terhadap perubahan beban dengan putaran 1650 rpm, arus medan 1,2 Amp. Dapat dilihat pada tabel 10, berikut:

Tabel 10. Pengukuran generator DC eksitasi terpisah perubahan beban resistif pada temperatur dengan arus medan konstan (1,2 Amp)

No	Beban	Arus Medan If	Arus Beban Ia	Tegangan Medan Vf	Tegangan Jepit Vt	Arus Beban IL	Temperatur (°C)
1	100	1,2	0,35	76,3	123,4	0,34	32,4
2	200	1,2	0,68	76,3	121,2	0,66	32,7
3	300	1,2	0,99	76,5	119,6	0,95	33,1
4	400	1,2	1,25	76,5	118,6	1,24	33,5
5	500	1,2	1,54	76,5	117,3	1,53	33,8

Sehingga untuk perubahan beban pada pengukuran temperature generator DC dapat dilihat pada gambar 22, berikut:



Gambar 22. Grafik pengaruh perubahan beban terhadap temperature pada generator DC

Dari grafik dapat kita jelaskan bahwa setiap kenaikan beban maka temperatur pada generator DC eksitasi terpisah ini akan semakin meningkat. Pada beban 100 W temperatur 32,4 C, pada beban 200 W temperatur 32,7 C, pada beban 300 W temperatur 33,1 C, pada beban 400 W temperatur 33,5 C, dan pada beban 500 W temperatur 33,8 C.

4. KESIMPULAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan generator DC eksitasi terpisah, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Untuk karakteristik berbeban sebuah generator DC menunjukkan bagaimana hubungan antara tegangan terminal V_t dan arus medan I_f ketika generator dibebani. Apabila generator dibebani maka akan mengalir arus beban sebesar IL. Pada saat arus medan 1,2 Amp terukur tegangan jepit sebesar 123,5 Volt dengan beban 100 watt dan arus beban 0,36 Amp, ketika beban dinaikkan tegangan jepit naik menjadi 121,2 Volt dengan tetap menjaga nilai arus medan tetap konstan.

Pada saat arus medan 1,1 Amp terukur tegangan jepit sebesar 120,6 Volt dengan beban 100 watt dan arus beban 0,35 Amp, ketika beban dinaikkan tegangan jepit naik menjadi 119,2 Volt dengan tetap menjaga nilai arus medan tetap konstan. Semakin kecil nilai arus medan yang diberikan semakin kecil pula nilai tegangan jepit yang terukur.

Dari data hasil generator DC eksitasi terpisah berbeban dengan menggunakan fuzzy logic mamdani tegangan induksi armature memiliki persentase rata-rata kesalahan 6,74 % dengan data hasil perhitungan.

Dari hasil perhitungan untuk efisiensi beban resistif pada arus medan 1,2 Amp beban 100 watt efisiensi sebesar 44,22 % semakin besar beban yang diberikan semakin kecil nilai efisiensi dari generator DC eksitasi terpisah, dengan tetap mempertahankan kecepatan agar konstan ketika beban bertambah.

Ketika menggunakan *Fuzzy Logic* nilai efisiensi yang terukur pada saat beban 100 watt tegangan jepit 123,5 Volt sebesar 43,9 %. Sehingga error kesalahan dengan perhitungan biasa 0,7 % dimana hasil hampir sama.

Untuk nilai kesalahan rata – rata dari fuzzy itu sendiri didapat sebesar 1,17 % yang berarti kinerja dari perhitungan menggunakan *fuzzy* dapat dikatakan baik karena nilai kesalahan menurut standarnya dibawah 10%.

Dari hasil pengukuran temperatur generator DC eksitasi terpisah ini dapat diketahui semakin bertambah beban temperatur akan naik.

4.2. Saran

Hasil penelitian tugas akhir ini pengaturan tegangan generator DC eksitasi terpisah pada labor teknik elektro dikendalikan secara manual, disarankan generator dipasang alat kontrol untuk tetap mempertahankan nilai kecepatannya, karena salah satu komponen yang paling penting untuk mengatur penguatan medan dengan otomatis dan juga dapat bekerja dengan baik dalam meregulasi perubahan tegangan *output* generator DC bila terjadi pertambahan beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Z. Anthony, "Mesin listrik dasar. Edited by Aswir Premadi. Padang: ITP Press." ITP Press, Padang, p. 142, 2018.
- (2000). Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1977.
- Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*. America: McGraw-Hill, 2005.
- H. Berahim, "Teknik Tenaga Listrik. Yogyakarta: Andi Offset.," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., 1967.
- D. Muliadi, "Universitas Sumatera Utara 7," pp. 7–37, 2015.
- A. EL Sebaay, M. Ramadan, and M. A. A. Adma, "Studying the Effect of Non-Linear Loads Harmonics on Electric Generator Power Rating Selection," *Eur. Sci. Journal, ESJ*, vol. 13, no. 18, p. 548, 2017.
- H. D. Laksono and H. Effendi, "Aplikasi logika fuzzy pada perkiraan kebutuhan energi listrik jangka panjang di provinsi sumatra barat sampai tahun 2018," *Teknol. Inf. Pendidik.*, vol. 3, no. 1, pp. 42–53, 2011.
- H. Kusumadewi, S dan Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- H. Kusumadewi, S dan Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi Kedua*, Kedua. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- M. Z. A. Zainun, N. Y dan Majid, "Low Cost House Demand Predictor," Universitas Teknologi Malaysia, 2003.



Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (Jurkim) is licensed under a [Creative Commons Attribution International \(CC BY-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)