

## RANCANG BANGUN DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) GUNA MENGURANGI TEGANGAN SAG DENGAN KENDALI LOGIKA FUZZY BERBASIS MIKROKONTROLER

**Deriz Caesar Okinanto<sup>1\*</sup>, Indhana Sudiharto<sup>2</sup>, Yahya Chusna Arif<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro Industri, Fakultas Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

<sup>3</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

\*Email: derizcaesar21@gmail.com

### Abstrak

*Gangguan tegangan sag dapat merugikan hingga tujuh kali lipat dibandingkan dengan kerugian yang timbul gangguan kualitas daya lainnya. Untuk meminimalisir gangguan tegangan sag, maka didesain suatu sistem Dynamic Voltage Restorer. Prinsip kerja Dynamic Voltage Restorer (DVR) yaitu mendeteksi tegangan sag menggunakan sensor tegangan AC dengan menggunakan metode pembagi tegangan 2 kapasitor dengan resistansi 330k $\Omega$  dan 220 $\Omega$ , kemudian di klamper sehingga tegangan menjadi DC. Sensor tegangan terhubung dengan ADC pada mikrokontroler ARM STM32F407VG yang digunakan untuk mengontrol injeksi tegangan. Ketika terjadi tegangan sag, maka inverter menginjeksi tegangan DC dari sumber kapasitor ke beban yang terkena gangguan dengan menggunakan booster transformator yang dihubungkan seri dengan tegangan sumber dan beban induktif. Inverter 1 fasa dikendalikan menggunakan logika fuzzy berbasis mikrokontroler untuk mendeteksi magnitude tegangan sag.*

**Kata kunci:** *Dynamic Voltage Restorer, Fuzzy logic controller, Single Phase Inverter.*

## 1. PENDAHULUAN

Menurut jurnal (Godsk Nielsen, 2002) kualitas daya listrik merupakan salah satu faktor penting dalam sistem kelistrikan di industri maupun konsumen lain. Hal ini dikarenakan semakin jelek kualitas daya listrik dari suatu sistem kelistrikan, biaya yang harus dikeluarkan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan yang ditimbulkan juga semakin besar. Namun terdapat beberapa gangguan yang sering timbul pada sistem tenaga listrik, di antaranya adalah gangguan tegangan sag. Tegangan Sag adalah menurunnya tegangan RMS pada frekuensi fundamental pada jaringan untuk durasi 0.5 cycle hingga 60 Cycle. Tegangan sag dapat terjadi setiap saat dengan rentang amplitudo 10–90% dan durasi antara setengah siklus hingga satu menit. Penyebab munculnya tegangan sag adalah karena kegagalan dalam sistem dan penyalaan motor induksi berdaya besar (Norfarhan, 2010).

Untuk menangani gangguan tegangan sag, maka digunakan *power electronic device* yang bernama *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*. DVR adalah sebuah sistem yang digunakan untuk menangani tegangan sag atau swell. Penggunaan dari DVR adalah untuk melindungi beban-beban sensitif yang dapat berakibat fatal jika terkena dampak dari tegangan sag pada sistem tegangan distribusi (Boonchiam & Mithulanathan, 2006).

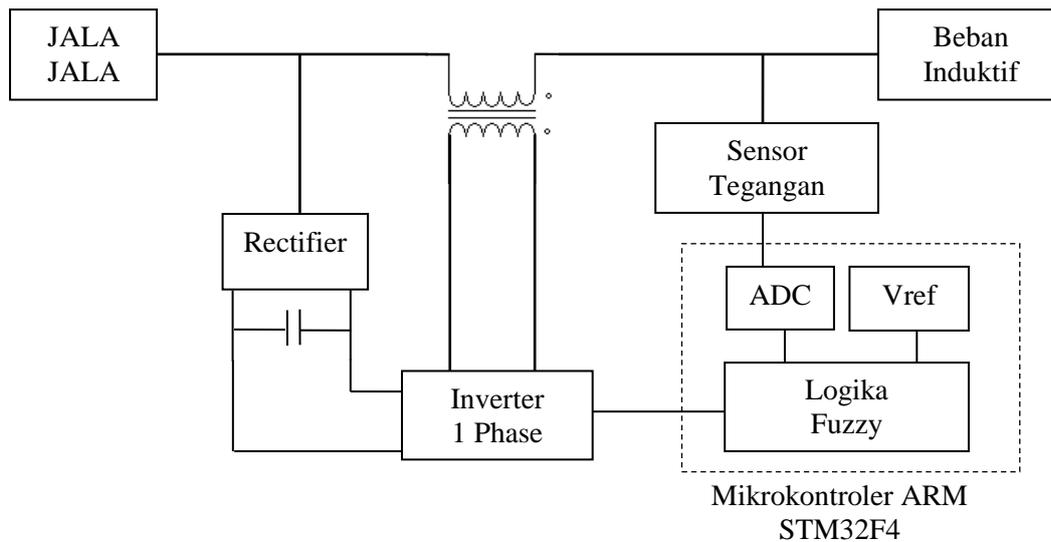
Perangkat utama dalam DVR adalah inverter 1 fasa. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan baterai, solar cell, atau sumber DC yang lain. Bentuk gelombang AC yang ideal adalah sinusoidal, tetapi bentuk gelombang keluaran single phase inverter belum tentu sinusoidal, karena terdapat bermacam-macam teknik pensaklaran inverter dan itu mempengaruhi bentuk gelombang keluaran dari inverter (H. Rashid, 2001).

## 2. METODOLOGI

Prosedur yang dilakukan pada penelitian dijelaskan sebagai berikut :

### a. Perencanaan Simulasi

Setelah memperoleh gambaran tentang sistem yang akan dirancang maka dilakukan simulasi untuk mengetahui apakah sistem tersebut dapat bekerja dengan baik atau tidak, maupun perbagian ataupun setelah diintegrasikan. Blok diagram perencanaan sistem adalah sebagai berikut.



**Gambar 1. Blok Diagram Sistem Keseluruhan**

c. Perancangan Perangkat Lunak dan Keras

Dalam penelitian, perangkat lunak menggunakan Keil uVision sebagai compiler. Sedangkan perangkat keras menggunakan mikrokontroler ARM STM32F407VG. Perancangan mikrokontroler ini digunakan sebagai kontrol logika fuzzy pada switching Inverter agar diperoleh tegangan keluaran yang sesuai tegangan drop sehingga tegangan pada beban induktif konstan.

d. Pembuatan dan Pengujian Perangkat Sistem

Dari hasil perancangan, dilakukan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Serta dilakukan pengujian kinerja masing-masing bagian lalu diintegrasikan.

e. Pembuatan Paper Penelitian

Tahap akhir adalah pembuatan paper yang berisi mengenai Sistem *Dynamic Voltage Restorer*.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

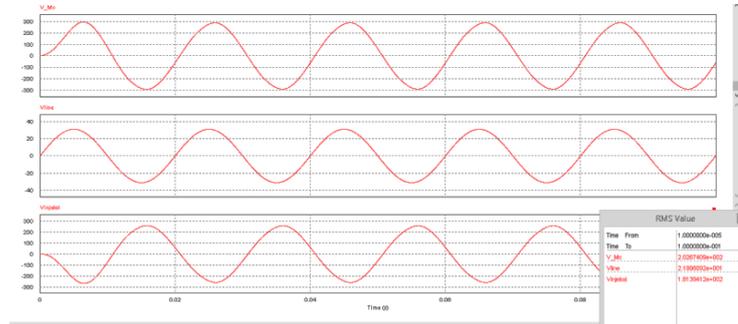
#### 3.1. Hasil Simulasi DVR

Simulasi *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) menggunakan software yang bernama PSIM. Rangkaian sistem DVR dihubungkan dengan booster transformer sisi primer, sedangkan pada sisi sekunder booster transformer dihubungkan seri antara sumber AC dengan beban 1 fasa. Hasil simulasi ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1. Hasil Simulasi DVR**

Sag (%)	Vref (V)	Vline (V)	Vinjeksi S (V)	Vinjeksi T (V)	Vload (V)	% Error
10	220	22	198.7	198	220.7	0.3
20	220	44	181.3	176	223.6	1.7
30	220	66	146.9	154	209.8	4.7
40	220	77	136.5	132	219.3	0.3
50	220	110	111.1	110	212.5	3.4
60	220	132	94.1	88	211.6	3.8
70	220	154	85.1	66	217.6	1.1
80	220	176	66.7	44	200	9
90	220	198	73.3	22	219.3	0.3

Pada tabel 1 dilakukan pengujian tegangan sag dari persentase 10% hingga 90%. Diketahui bahwa persentase error rata-rata tidak lebih dari 5%. Sedangkan untuk hasil simulasi gelombang tegangan sag ketika terjadi gangguan 10% ditunjukkan pada gambar 2 berikut ini.



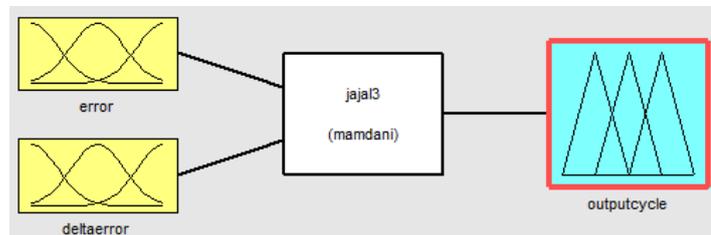
**Gambar 2. Grafik Simulasi Gangguan Tegangan Sag 10% dan 90%**

Pada gambar 2 didapatkan hasil gelombang injeksi tegangan ketika terjadi gangguan tegangan sag 10%. Terlihat bahwa nilai tegangan setelah dikompensasi adalah 220.7 volt dengan persentase error 0.3%. Hal itu telah menunjukkan bahwa persentase error tidak terlalu besar sehingga kompensasi tegangan sag pada sistem

### 3.2. Hasil Simulasi dan Pengujian Respon Kontrol Logika Fuzzy

Untuk merealisasikan proyek akhir ini dilakukan perancangan perangkat lunak (software) dari sistem yang dikontrol. Perancangan alat lunak meliputi perancangan algoritma sistem perangkat lunak menggunakan fuzzy logic control untuk mengatasi tegangan sagging di sisi beban.

Untuk menentukan membership dan rulebase maka dilakukan simulasi menggunakan matlab dengan blok diagram sebagai berikut.



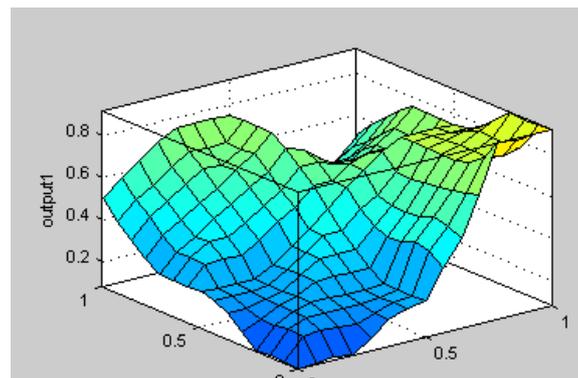
**Gambar 3. Blok Diagram logika Fuzzy**

Pada gambar 2, logika fuzzy kontrol dirancang dengan menggunakan 2 input dan 1 output. Untuk input terdiri dari error dan  $\Delta$ error, sedangkan untuk output adalah respon dari logika fuzzy tersebut. Membership input variabel error dengan menggunakan 5 membership function yaitu NEB (negatif error besar), NE (negatif error), PASS, PE (positif error), PEB (positif error besar). Jenis membership yang digunakan pada input ini adalah jenis triangle wave. Sedangkan untuk input variabel  $\Delta$ error memiliki membership function yang sama dengan error. Lalu untuk respon output memiliki membership output dengan 5 membership yaitu KB (Kurang banyak), K (kurang), BIAR (biarkan saja), T (tambah), dan TB (tambah banyak). Setelah menentukan membership function, maka langkah selanjutnya adalah menentukan rulebase dari fuzzy logic control yang ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 2. Rulebase Logika Fuzzy**

DE \ E	E				
	NEB	NE	PASS	PE	PEB
DNEB	KB	KB	K	TB	TB
DNE	KB	K	K	T	TB
DPASS	K	K	BIAR	T	T
DPE	K	BIAR	T	BIAR	T
DPEB	BIAR	T	T	K	BIAR

Tabel 2 menunjukkan rulebase fuzzy logic yang memiliki 2 input dengan masing-masing 5 membership function, dan 1 output yang memiliki 5 membership function. Sehingga menghasilkan 25 aturan dengan menggunakan fungsi and. Untuk hasil fuzzifikasi ditunjukkan pada gambar berikut ini.

**Gambar 4. Respon Output Logika Fuzzy**

Gambar 4 menunjukkan hasil fuzzifikasi berupa surface yang telah dibuat dengan hasil magnitude output yang diharapkan sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Setelah dilakukan simulasi matlab, maka langkah selanjutnya adalah perencanaan pada program KEIL uVision. Sesuai dengan banyaknya membership yakni 5 untuk error dan 5 untuk delta error. Maka pada program KEIL, membership function error dapat diketik sebagai berikut.

```

if(err<(-a))
{NEB=1;NE=0;PAS=0,PE=0;PEB=0;}
else if(err>(-a) && err<(-b))
{NEB= (-err-b)/(a-b); NE=(err+a)/(a-b);
PAS=0; PE=0; PEB=0; }

```

Membership function dari error terdapat 5 inialisasi yaitu  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , dan  $e$ . Sedangkan pada program di ketik hanya pada inialisasi ke  $a$ . Sedangkan untuk membership function delta error hampir serupa dengan inialisasi error. Sedangkan program untuk rulebase ditunjukkan pada program berikut ini.

```

if(DNEB<NEB) r1=NEB;
else r1=DNEB;

if(DNEB<NE) r2=NE;
else r2=DNEB;

if(DNEB<PAS) r3=PAS;
else r3=DNEB;

```

Pada program diatas ditunjukkan rulebase 1 hingga rulebase 3, sedangkan terdapat 25 rulebase yang diterapkan pada program. Program untuk rulebase secara menyeluruh akan ditunjukkan pada lampiran. Sedangkan untuk program defuzzifikasi pada KEIL uVISION ditunjukkan pada susunan program berikut ini.

```

atas =((KB*r1)+(KB*r2)+(K*r3)+(BS*r4)+(TS*r5)+(KB*r6)+
(K*r7)+(KS*r8)+(TS*r9)+(T*r10)+(K*r11)+(K*r12)+(BS*r13)+(T*r14)+(T*r15)+(K*r16)+
(KS*r17)+(TS*r18)+(T*r19)+(TB*r20)+(KS*r21)+(BS*r22)+(T*r23)+(TB*r24)+(TB*r25));
bawah =(KB+KB+K+BS+TS+KB+K+KS+TS+T+K+K+BS+T+
T+K+KS+TS+T+TB+KS+BS+T+TB+TB);
fuzzy = atas/bawah;

```

Pada program defuzzifikasi diatas terdapat 2 inisialisasi yaitu atas dan bawah. Sehingga proses defuzzifikasi adalah membagikan antara inisialisasi atas dan bawah. Kemudian untuk program output fuzzy adalah pada program dibawah ini.

```
output = output + fuzzy;
```

Pada program output diatas disebutkan bahwa perumusan output adalah penjumlahan antara output lama dengan hasil defuzzifikasi, hingga didapatkan hasil yang steady state.

### 3.3. Hasil Pengujian Inverter 1 Fasa

Hasil pengujian inverter 1 fasa dengan menggunakan 2 ADC yaitu tegangan referensi dan tegangan setpoint. Sedangkan untuk timer menggunakan 4 timer untuk IGBT. Sedangkan IGBT membutuhkan tegangan (Vcc) sebesar 15 Volt dan tegangan DC dari 2 DC Power Supply yang dihubung seri sehingga bisa dihasilkan tegangan antara 10 – 36.5 volt yang ditunjukkan pada tabel 4 berikut ini.

**Tabel 4. Hasil Pengujian Inverter 1 fasa**

Vsp (Volt)	Vout (Volt)	Freq	%error tegangan (%)
10	10.01	50.3	0.1
14	14.02	50.4	0.14
18	18.01	50.4	0.05
22	22.02	50.5	0.09
26	26.03	50.5	0.12
30	30.01	50.3	0.04
36.5	36.502	50.9	0.01

Pada tabel 4 menunjukkan hasil pengujian respon inverter yang dihasilkan dari tegangan DC 10 – 36.5 volt. Dengan melihat dari hasil yang persentase errornya maka didapatkan respon yang baik dengan respon kurang dari 1 detik. Sedangkan untuk gambar gelombang ketika tegangan input 36.5 volt ditunjukkan pada gambar berikut ini.



**Gambar 5. Gelombang output Inverter**

Pada gambar 5 ditunjukkan bahwa gelombang output inverter adalah 36.502 volt dengan persentase error sangat kecil yaitu 0.01%. Kecepatan injeksi juga sangat cepat yakni kurang dari 1 detik. Maka respon kontrol pada inverter sudah baik dilihat dari persentase error yang sangat kecil dan kecepatan injeksi yang cepat meskipun tegangan input saat pengetesan masih tegangan rendah.

#### **4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Sensing Tegangan AC dengan fungsi RMS yang dimiliki oleh mikrokontroler akurat, sehingga error dengan alat ukur tidak lebih dari 2%, Namun untuk pembacaan tegangan kecil kurang akurat.
2. Dengan menaikkan frekuensi carrier inverter menjadi 15 KHz maka harmonik yang muncul juga berada di frekuensi yang lebih tinggi. Sehingga harmonik yang muncul akan diredam oleh Filter LC yang didesain.
3. Kontrol logika fuzzy pada DVR cukup handal dikarenakan sangat cocok dengan kecepatan respon yang dimiliki dengan kebutuhan DVR.

#### **5. DAFTAR PUSTAKA**

- Boonchiam, P., & Mithulananthan, N. (2006). *Dynamic Control Strategy in Medium Voltage*. 1-5.
- Chowdhury, S., P. Chowdhury, S., & Crossley, P. (2009). *Microgrids and Active*. London: Institution of Engineering and Technology.
- Godsk Nielsen, J. (2002). *Design and Control*. 17-22.
- H. Rashid, M. (2001). *Power Electronics Handbook* . Florida: University of West Florida Pensacola.
- Madhusudan, R., & Friends. (2012). *Modeling and Simulation of a Dynamic Voltage Restorer (DVR) for Power Quality Problems Voltage Sags and Swells*.
- Norfarhan, M. (2010). *DESIGN AND SIMULATION VOLTAGE DYNAMIC RESTORER (DVR)*. 21-24.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control System*. Prentice Hall.