

PROTOTIPE DYNAMIC VOLTAGE RESTORER (DVR) SEBAGAI KOMPENSASI DROP VOLTAGE BERBASIS KENDALI FUZZY-ARDUINO UNO

Johan Firmansah

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : johanfirmansah@mhs.unesa.ac.id

Achmad Imam Agung

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : imamagung@yahoo.com

Abstrak

Drop voltage adalah salah satu masalah kualitas daya listrik. *Drop voltage* dapat diartikan sebagai suatu gejala penurunan tegangan Rms bolak-balik dari nilai tegangan nominal pada dengan durasi lebih dari 1 menit yang dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. *Drop voltage* ini berpengaruh pada proses operasional industri ataupun konsumen rumah tangga karena peralatan yang sensitif terhadap *drop voltage*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat yang mampu mengkompensasi *drop voltage* berbasis kendali fuzzy-Arduino Uno. Jenis penelitian menggunakan metode penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab akibat dengan cara melakukan satu atau lebih kelompok eksperimen atau percobaan sehingga dapat diidentifikasi dan dibandingkan penyebab dan faktor-faktor yang membawa perubahan pada hasil eksperimen yang telah dilakukan (Suryabrata, 2002: 92). Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) mampu mengkompensasi *drop voltage*. Pada hasil pengujian pada percobaan tanpa beban perbandingan tegangan sistem antara DVR tanpa kendali fuzzy dan DVR dengan kendali fuzzy didapatkan *error* terkecil 0 % dan *error* terbesar 3,70 % dan *error* rata-rata adalah 1,44 %. Kemudian pada pengujian dengan beban perbandingan tegangan sistem antara DVR tanpa kendali fuzzy dan DVR dengan kendali fuzzy didapatkan *error* terkecil 0 % dan *error* terbesar 3,22 %. Sedangkan *error* rata-ratanya didapatkan 1,87 %.

Kata Kunci : *Drop Voltage*, Kendali Fuzzy, *Dynamic Voltage Restorer* (DVR), Arduino Uno.

Abstract

Drop voltage is one of the problems of electric power quality. Drop voltage can be interpreted as a decrease in Rms alternating voltage from the nominal voltage value with a duration of more than 1 minute which is expressed either in% or in the magnitude of volts. Drop voltage affects industrial operational processes or household consumers because the equipment is sensitive to drop voltage. This study aims to design and make a tool that is able to compensation drop voltage based on fuzzy controller- Arduino Uno. This type of research uses experimental research methods. Experimental research to test topics related to how to do one or more groups of experiments that can compare and compare factors and factors that cause changes in the results of experiments that have been conducted (Suryabrata, 2002: 92). The results showed that the *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) tool was able to compensate for drop voltage. In the results of testing on a no-load test system voltage comparison between DVR without fuzzy control and DVR with fuzzy control the smallest error was 0% and the biggest error was 3.70% and the average error was 1.44%. Then in testing with loads, comparison between DVR without fuzzy control and DVR with fuzzy control the smallest error is 0% and the biggest error is 3.22%. While the average error was 1.87%.

Keywords : Drop Voltage, Fuzzy Controller, *Dynamic Voltage Restorer* (DVR), Arduino Uno.

PENDAHULUAN

Energi Listrik adalah salah satu kebutuhan masyarakat yang penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang utama yang dibutuhkan dalam suatu kegiatan usaha baik di rumah tangga, kantor, industri maupun tempat lainnya. Oleh karena itu kualitas energi listrik yang didistribusikan kepada konsumen harus memenuhi standart dan disediakan secara kontinyu. Pada prakteknya pada sistem tenaga listrik banyak terdapat beban non linier dan beberapa kejadian pada sistem tenaga listrik (misalnya: *switching* kapasitor, *starting* motor) yang berpengaruh secara signifikan pada kualitas

energi listrik dari suplai energi listrik. Selain itu adanya gangguan pada sistem juga dapat menimbulkan berbagai masalah kualitas daya listrik. Isu masalah kualitas daya listrik menjadi semakin penting bagi konsumen daya listrik pada semua tingkat pemakaian, karena itu kesadaran tentang masalah kualitas daya listrik terus berkembang diantara konsumen tenaga listrik (Winarso, 2013: 236).

Salah satu contoh masalah kualitas daya listrik adalah *drop voltage*. *Drop voltage* merupakan suatu gejala penurunan tegangan RMS bolak-balik dari nilai tegangan nominal pada dengan durasi lebih dari 1 menit

yang dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. *Drop voltage* ini berpengaruh pada proses operasional industri ataupun konsumen rumah tangga karena kualitas daya listrik yang tidak memenuhi persyaratan, khususnya konsumen yang menggunakan peralatan yang sensitif terhadap *drop voltage* yang akan menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik tersebut (Hamid, 2015: 825).

Oleh karena itu diperlukan suatu alat yang bisa mengkompensasi *drop voltage* akibat tegangan sumber yang kurang maupun *drop voltage* akibat penggunaan beban induktif. Salah satu solusi untuk mengatasi *drop voltage* tersebut adalah *Dynamic Voltage Restorer* (DVR). *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) berfungsi untuk mengkompensasi *drop voltage* dengan cara menginjeksikan tegangan dinamis terkontrol sesuai dengan nilai *drop voltage* agar dapat mempertahankan tegangan agar berada pada tegangan kerja yaitu 220 V. Oleh karena itu pada proposal penelitian ini penulis membahas “Prototipe *Dynamic Voltage Restorer* Sebagai Kompensasi *Drop Voltage* Berbasis Kendali Fuzzy-Arduino Uno”.

KAJIAN PUSTAKA

Drop Voltage

Drop Voltage atau jatuh tegangan merupakan gejala penurunan tegangan dari nilai tegangan nominal pada dengan durasi lebih dari 1 menit. Besarnya *drop voltage* dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran volt. *Drop voltage* pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar.

Perhitungan *drop voltage* praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan (Wibowo dkk, 2010: 01). Jatuh tegangan relatif dianggap sama dengan persamaan 1 sebagai berikut :

$$\Delta V = I \cdot Z \quad (1)$$

(Sumber : Wibowo dkk, 2010)

Keterangan :

ΔV = Drop Voltage (V)

I = Arus (A)

Z = Impedansi (Ω)

Drop Voltage juga bisa diasumsikan dengan selisih antara tegangan kirim dengan tegangan yang diterima diberikan oleh persamaan 1 berikut ini :

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (2)$$

(Sumber : Wibowo dkk, 2010)

Keterangan :

V_s = Tegangan kirim (V)

V_r = Tegangan terima (V)

Maka besar nilai persentase (%) *drop voltage* seperti persamaan 3 dibawah ini :

$$\Delta V \% = \Delta V / V \times 100 \% \quad (3)$$

(Sumber : Wibowo dkk, 2010)

Keterangan :

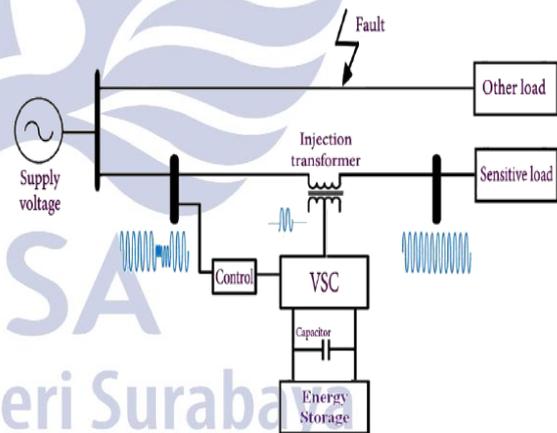
V = Tegangan kerja (V)

Dynamic Voltage Restorer (DVR)

Dynamic voltage restorer (DVR) merupakan piranti yang menginjeksi tegangan ke dalam sistem untuk mengkompensasi *drop voltage* disisi beban. Umumnya *Dynamic voltage restorer* (DVR) dipasang pada sistem distribusi diantara suplai dan beban (Ahmad, 2017: 11). Selain berfungsi untuk mengkompensasi *drop voltage*, *Dynamic voltage restorer* (DVR) juga memiliki fitur tambahan lain seperti :

1. Mengkompensasi harmonisa pada jaringan.
2. Mereduksi tegangan transien.
3. Mengkompensasi gangguan tegangan seperti fluktuasi tegangan, sag dan swell.

Prinsip kerja dari *Dynamic voltage restorer* (DVR) menerima dan memproses sinyal *drop voltage* dari sumber, kemudian sinyal tersebut akan diproses oleh mikrokontroller dan dimodulasikan menggunakan teknik *pulse with modulation* (PWM) melalui mikrokontroller Setelah itu output dari PWM diatas digunakan untuk mentrigger rangkaian *switching* yang terdiri atas 4 MOSFET. Tegangan keluaran kemudian diinjeksikan ke sistem untuk mengkompensasi *drop voltage* yang terjadi. Berikut ini adalah gambar konfigurasi DVR yang ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Konfigurasi *Dynamic Voltage Restorer* (Sumber : Imran M, 2014 : 181)

Logika Fuzzy

Logika Fuzzy merupakan buah karya pemikiran dari Proffesor Lotfi Zadeh. Logika Fuzzy menyediakan metode untuk mengurangi kompleksitas sistem. Karena kurangnya informasi yang didapat dengan menggunakan model matematika tradisional seiring dengan meningkatnya kompleksitas sistem. Fuzzy memiliki arti kabur atau tidak jelas. Jadi logika fuzzy dapat diartikan sebagai logika kabur atau mengandung unsur ketidakpastian.

Menurut Kusumadewi dan Purnomo (2010 : 02) ada beberapa alasan untuk menggunakan logika *fuzzy*, antara lain:

1. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti karena logika *fuzzy* menggunakan dasar teori himpunan, maka konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* tersebut mudah untuk dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel artinya mampu beradaptasi dengan perubahan-perubahan dan ketidakpastian.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat. Jika diberikan sekelompok data yang cukup homogen dan kemudian ada beberapa data yang eksklusif, maka logika *fuzzy* memiliki kemampuan untuk menangani data eksklusif tersebut.
4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks.

Himpunan Fuzzy

Nilai keanggotaan himpunan tegas (*crisp*) suatu pernyataan x dalam suatu himpunan A , yang ditulis dengan $\mu_A(x)$, memiliki dua kemungkinan, yaitu satu (1), yang berarti bahwa suatu pernyataan anggota dalam suatu himpunan, atau nol (0), yang berarti bahwa suatu pernyataan bukan anggota dalam suatu himpunan (Kusumadewi dan Purnomo, 2010 : 03).

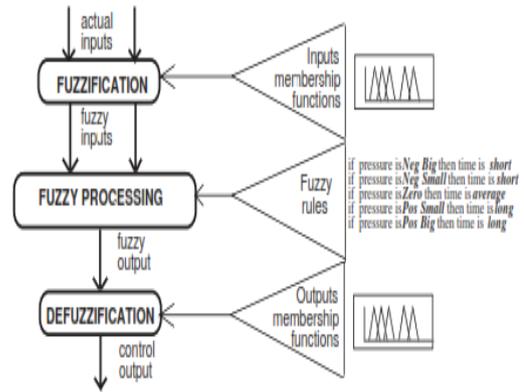
Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang sering juga disebut dengan derajat keanggotaan dan memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi (Kusumadewi dan Purnomo, 2010 : 8). Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Representasi linier
2. Representasi Segitiga
3. Representasi Trapesium
4. Representasi Sigmoid
5. Representasi Phi

Kendali Fuzzy

Terdapat dua pendekatan pada kendali *fuzzy* menurut Reznik, yaitu dengan pendekatan pakar dan pendekatan teknik kontrol. Pada awalnya, struktur kendali *fuzzy* dan pemilihan parameter diasumsikan sebagai tanggung jawab para perancang. Akibatnya, desain dan kinerja pengendali *fuzzy* sangat bergantung pada pengetahuan dan pengalaman para ahli, intuisi, dan perasaan profesional seorang perancang. Pendekatan kedua menerapkan pengetahuan tentang teknik kontrol dan desain pengendali *fuzzy* dalam beberapa aspek yang serupa dengan desain pengendali konvensional seperti PID, jaringan saraf tiruan, dan lain-lain (Reznik, 1997 : xviii). Operasi kendali *fuzzy* dibagi menjadi 3 langkah atau bagian yang ditunjukkan oleh Gambar 2 dibawah ini :

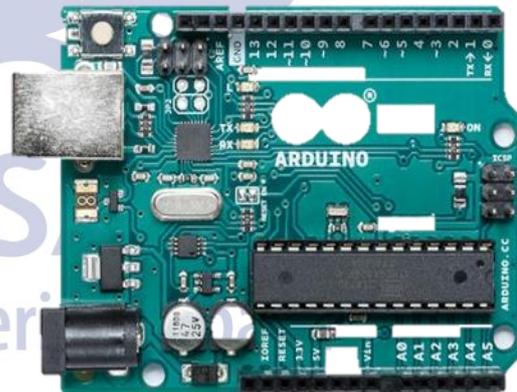


Gambar 2. Operasi kendali fuzzy (Sumber : Reznik, 1997: 74)

1. **Fuzzifikasi** adalah proses masukan aktual menjadi masukan untuk variabel masukan.
2. **Pengolahan Fuzzy** adalah proses mengolah masukan *fuzzy* sesuai dengan aturan dan menentukan keluaran *fuzzy*.
3. **Defuzzifikasi** adalah proses menghasilkan nilai tegas untuk keluaran *fuzzy*.

Arduino Uno

Arduino Uno merupakan *platform* mikrokontroler elektronik yang *open source*, berbasis pada *software* dan *hardware* yang fleksibel dan mudah digunakan yang ditujukan untuk seniman, *desainer*, *hobbies* dan setiap orang yang tertarik dalam membuat sebuah objek atau lingkungan yang interaktif (Artanto, 2012: 01). Berikut ini adalah arduino uno yang ditunjukkan Gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Main Board Arduino Uno REV 3 (Sumber : www.arduino.cc, 2018)

Arduino uno memiliki beberapa keuntungan utama yaitu jumlah pengguna yang banyak sehingga tersedia pustaka kode program dan modul pendukung dalam jumlah yang banyak. Hal tersebut memudahkan pengguna pemula untuk lebih mengenal dunia mikrokontroler. Selain itu Arduino uno memiliki harga yang ekonomis sehingga semua kalangan bisa memiliki dan menggunakannya dengan mudah dan praktis.

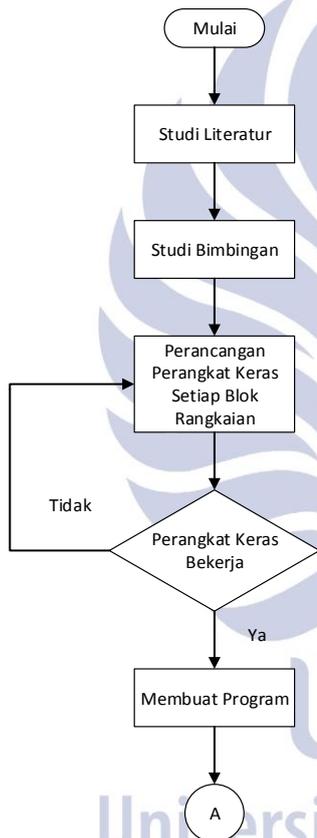
METODELOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian menggunakan metode penelitian eksperimen. Penelitian eksperimen bertujuan untuk menyelidiki kemungkinan hubungan sebab akibat dengan cara melakukan satu atau lebih kelompok eksperimen atau percobaan sehingga dapat diidentifikasi dan dibandingkan penyebab dan faktor-faktor yang membawa perubahan pada hasil eksperimen yang telah dilakukan (Suryabrata, 2002: 92). Penelitian eksperimen dapat dikatakan sebagai metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang dikontrol atau dikendalikan.

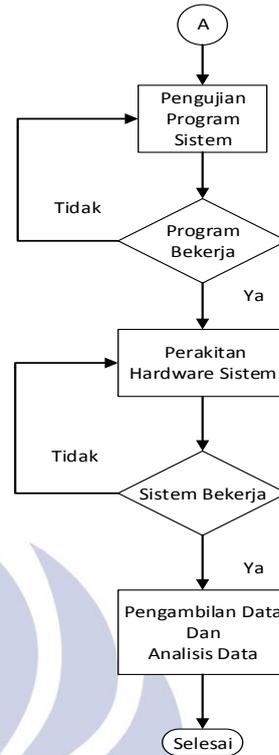
Diagram Alir Penelitian

Berikut ini diagram alir penelitian ditunjukkan oleh Gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. Diagram alir Penelitian (Sumber : Data Primer, 2018)

Penelitian dilakukan dimulai dari studi literatur dengan mencari referensi teori dari berbagai sumber misalnya skripsi, jurnal dan buku. Kemudian dilanjutkan dengan studi bimbingan dengan dosen pembimbing skripsi untuk menemukan solusi permasalahan yang ada dan dilanjutkan dengan perancangan perangkat keras atau *hardware* yang akan dibuat. Jika perangkat keras bekerja maka akan dilanjutkan dengan membuat program, jika tidak maka akan kembali pada perancangan keras. Langkah selanjutnya ditunjukkan oleh Gambar 5 dibawah ini :

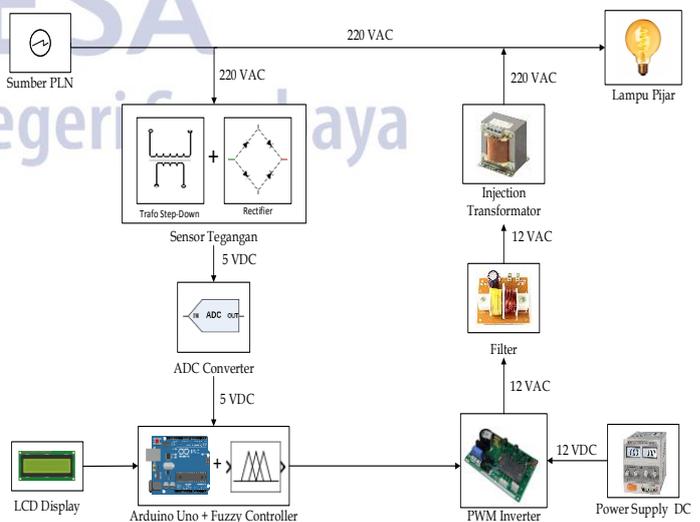


Gambar 5. Diagram alir Penelitian (Sumber: Data Primer, 2018)

Setelah pembuatan program dilanjutkan dengan pengujian program, jika program bekerja maka dilanjutkan dengan perakitan seluruh *hardware* sistem, jika tidak kembali lagi pada pembuatan program. Kemudian jika sistem bekerja akan dilanjutkan dengan pengambilan data dan analisis data jika sistem tidak bekerja maka kembali lagi pada perakitan *hardware* sistem.

Diagram Sistem

Diagram sistem secara keseluruhan *Dynamic voltage restorer* (DVR) ditunjukkan oleh Gambar 6 dibawah ini :



Gambar 6. Diagram alir Penelitian (Sumber: Data Primer, 2018)

Prinsip kerja *dynamic voltage restorer* dimulai pada saat terjadi *drop voltage* pada sistem maka sensor tegangan akan mendeteksi *drop voltage* yang terjadi pada sistem. Kemudian sensor tegangan akan mengirimkan data pengukuran ke *Analog to digital converter*. *Analog to digital converter* (ADC) berfungsi untuk mengkonversi sinyal analog menjadi sinyal digital agar output dari sensor tegangan terbaca oleh mikrokontroler dan hasil pembacaan dari sensor tegangan tersebut akan ditampilkan pada LCD 16 x 2. Kemudian kontroler *fuzzy* akan memproses input dari mikrokontroler untuk menentukan *output* nilai PWM.

Sinyal PWM dari Arduino uno digunakan untuk mentrigger MOSFET pada inverter dengan teknik *Pulse With Modulation* (PWM). *Pulse With Modulation* (PWM) mengatur lebar pulsa (*Duty Cycle*) yang dapat dikontrol agar tegangan output bervariasi sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian tegangan output inverter akan dinaikkan tegangannya menggunakan transformator *step-up* untuk mengkompensasi atau mengganti *drop voltage* yang terjadi.

Desain Kendali Fuzzy

1. Fuzzifikasi

Jenis kendali *fuzzy* yang digunakan merupakan kendali *fuzzy* yang memiliki dua masukan yaitu *error* dan $\Delta error$ dan satu nilai keluaran yaitu nilai PWM. *Error* merupakan selisih nilai *set point* dengan nilai keluaran, sedangkan $\Delta error$ merupakan perubahan *error* yang didapat dari turunan pertama besaran *error*. Fungsi masukan dapat dilihat pada persamaan 4 dibawah ini :

$$e(k) = SP(k) - Y(k)$$

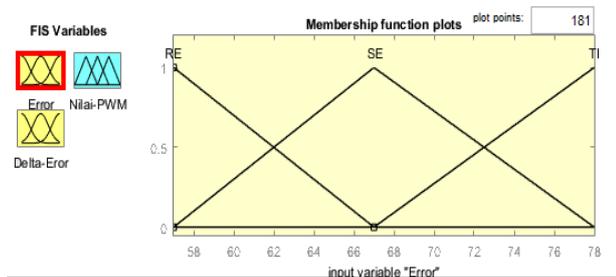
$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \tag{4}$$

(Sumber: Kusumadewi dan Purnomo, 2010)

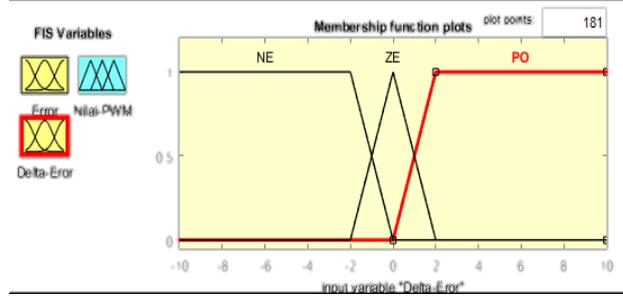
Keterangan :

- e = error
- Δe = Delta error
- k = Konstanta
- SP = Set point
- Y = Nilai Aktual

Untuk menentukan dan *membership* atau himpunan fuzzy dan *rulebase* dilakukan simulasi pada aplikasi MATLAB. Berikut ini merupakan gambar blok diagram fuzzy dan *membership function* input ditunjukkan berturut-turut oleh Gambar 7 dan Gambar 8 dibawah ini :

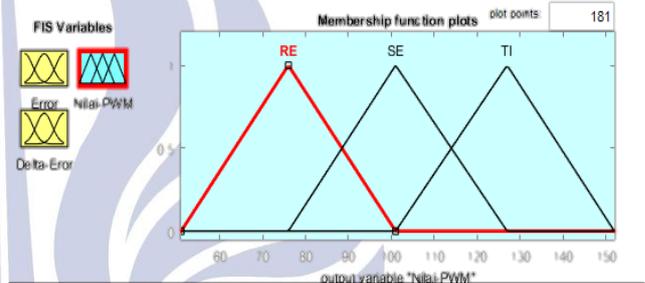


Gambar 7. Membership Function Error
(Sumber: Data Primer, 2018)



Gambar 8. Membership Function Delta Error
(Sumber: Data Primer, 2018)

Membership function input terdiri atas 3 yaitu RE (Rendah), SE (Sedang) dan OTG (Tinggi). Pada *Membership function error* menggunakan representasi segitiga sedangkan *Membership function $\Delta error$* menggunakan representasi trapesium dan segitiga. Kemudian *membership function* nilai PWM yang ditunjukkan oleh Gambar 9 dibawah ini :



Gambar 9. Membership Function Nilai PWM
(Sumber: Data Primer, 2018)

Membership function output juga terbagi atas 3 *membership function* yaitu RE (Rendah), SE (Sedang) dan TG (Tinggi) dengan range nilai PWM 55 sampai 150 dengan representasi segitiga.

2. Rulebase

Berikut ini adalah basis aturan atau *rule base* yang akan digunakan untuk kendali *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) seperti dibawah ini :

1. If (*Error* is RE) and (*Delta-Error* is PO) then (Nilai-PWM is RE) (1)
2. If (*Error* is RE) and (*Delta-Error* is NE) then (Nilai-PWM is RE) (1)
3. If (*Error* is RE) and (*Delta-Error* is ZE) then (Nilai-PWM is RE) (1)
4. If (*Error* is SE) and (*Delta-Error* is PO) then (Nilai-PWM is SE) (1)
5. If (*Error* is SE) and (*Delta-Error* is NE) then (Nilai-PWM is SE) (1)
6. If (*Error* is SE) and (*Delta-Error* is ZE) then (Nilai-PWM is SE) (1)
7. If (*Error* is TI) and (*Delta-Error* is PO) then (Nilai-PWM is TI) (1)
8. If (*Error* is TI) and (*Delta-Error* is NE) then (Nilai-PWM is TI) (1)
9. If (*Error* is TI) and (*Delta-Error* is ZE) then (Nilai-PWM is TI) (1)

3. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi adalah suatu proses konversi dari himpunan fuzzy yang dihasilkan dari komposisi ke dalam *crisp value*. Teknik yang digunakan adalah *centroid technique*. Metode ini mencari *centre of gravity* (COG). Cara menghitung nilai keluaran sama seperti menghitung pusat area dari suatu kurva tertutup yang dirumuskan oleh persamaan 5 dibawah ini :

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx} \quad (5)$$

(Sumber: Kusumadewi dan Purnomo, 2010)

Keterangan :

COG = *Centre of gravity*

μ_A = Fungsi Keanggotaan

x = Variabel x

dx = Turunan dari x

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sensor Tegangan ZMPT101B

Pengujian sensor tegangan ZMPT101B bertujuan agar nilai pembacaan sensor sama dengan nilai *real*. Data analog hasil pembacaan sensor tegangan ZMPT101B ini dikonversi menjadi data digital agar dapat dibaca oleh Arduino Uno. Berikut ini adalah hasil pengujian sensor ZMPT101B ditunjukkan oleh Tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Pengujian Sensor ZMPT101B
(Sumber : Data Primer, 2018)

NO	Nilai Sensor	Nilai Avometer	Error (%)
1	228,6	229,7	0,47
2	229,4	229,7	0,13
3	229,0	229,7	0,30
4	229,4	229,9	0,21
5	229,4	229,8	0,17
6	229,4	229,6	0,08
7	229,4	229,9	0,21
8	229,4	229,4	0
9	229,4	230,3	0,39
10	229,4	230,1	0,30
11	Error rata-rata		0,22

Dari data diatas dilakukan pengambilan data sebanyak 10 pada sensor tegangan ZMPT101B dan AVO meter. Hasil pembacaan sensor menunjukkan bahwa *error* terbesar yaitu 0,47 % pada awal pembacaan sensor dan *error* terkecil 0 %. Sedangkan *error* rata-rata diperoleh 0,22 %.

Pengujian PWM Inverter

Pengujian PWM Inverter bertujuan untuk mengetahui output tegangan akibat perubahan *duty cycle*. Berikut ini tabel pengujian dan pengambilan data pengujian PWM inverter pada Tabel 2 dibawah ini :

Tabel 2. Pengujian PWM Inverter
(Sumber : Data Primer, 2018)

NO	Duty Cycle (%)	Nilai PWM	Vout Inverter (Teori)	Vout Inverter (Praktek)	Error (%)
1	0	0	0	0	0
2	10	12	0,75	1,02	26,47
3	20	25	1,57	1,93	18,65
4	30	38	2,39	2,90	17,58
5	40	50	3,14	3,72	18,47
6	50	63	3,96	4,84	18,18
7	60	76	4,78	5,53	13,56
8	65	82	5,16	5,75	10,26
9	70	88	5,54	6,53	15,16
10	75	95	5,98	7,03	14,93
11	80	101	6,36	7,46	14,47
12	85	107	6,74	7,85	14,14
13	90	114	7,18	8,35	14,01
14	95	120	7,55	8,71	13,31
15	100	127	8	8,94	10,51
16	Error rata-rata				14,64

Pada hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa *error* terbesar yaitu 26,47 % pada awal pembacaan sensor dan *error* terkecil 10,26 %. Sedangkan *error* rata-rata diperoleh 14,64 %. Nilai *output* PWM inverter tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \quad (6)$$

(Sumber : Imran M, 2014)

Keterangan :

V_{out} = Tegangan Output

T_{off} = Waktu pulsa *Off/Low*

T_{on} = Waktu pulsa *On/High*

Dari hasil perhitungan diatas nilai *output* tegangan PWM inverter lebih besar dari teori. Hal ini dikarenakan adanya penguatan tegangan pada MOSFET. Kemudian berikut ini merupakan gambar grafik perbandingan antara nilai teori dengan nilai praktek *output* tegangan PWM inverter yang ditunjukkan oleh Gambar 10 dibawah ini :



Gambar 10. Grafik Perbandingan Antara Nilai Teori dengan Nilai Praktek *Output* Tegangan PWM inverter
(Sumber: Data Primer, 2018)

Pengujian DVR Tanpa Beban

Pengujian DVR ini dilakukan tanpa beban. Pengujian ini dilakukan untuk melihat tegangan sistem dari DVR. Pada pengujian ini tegangan sumber diturunkan dengan bantuan regulator tegangan. Tegangan sumber diturunkan maksimal 50 V. Berikut ini gambar pengujian *Dynamic voltage restorer* tanpa beban yang ditunjukkan oleh Gambar 11 dibawah ini :



Gambar 11. Pengujian DVR Tanpa Beban (Sumber: Data primer, 2018)

1. Pengujian DVR Tanpa Kendali Fuzzy

Berikut ini pengambilan data DVR tanpa beban dengan sistem DVR tanpa menggunakan kendali *fuzzy* pada Tabel 3 dibawah ini :

Tabel 3. Pengujian DVR Tanpa Kendali Fuzzy (Sumber : Data Primer, 2018)

NO	V Sumber (V)	Drop Voltage (V)	V Inject (V)	V Sistem (V)	PW M
1	170	50	176,4	212	114
2	175	45	176,4	217	114
3	180	40	161,4	214	101
4	185	35	161,4	218	101
5	190	30	152,6	216	95
6	195	25	152,6	219	95
7	200	20	144,7	226	88
8	205	15	144,7	228	88
9	210	10	132,2	229	82
10	215	5	132,2	234	82

Berdasarkan data hasil pengujian diatas tegangan sistem yang paling mendekati tegangan refrensi yaitu pada saat *drop voltage* 25 V dengan tegangan sistem 219 V dan nilai PWM 95. Sementara itu tegangan sistem tertinggi yaitu 234 V pada dengan nilai PWM 82 dan *inject* tegangan sebesar 132,2 V.

2. Pengujian DVR Dengan Kendali Fuzzy

Berikut ini tabel pengujian dan pengambilan data DVR tanpa beban dengan sistem DVR menggunakan kendali *fuzzy* pada Tabel 4 dibawah ini :

Tabel 4. Pengujian DVR Dengan Kendali Fuzzy (Sumber : Data Primer, 2018)

NO	V Sumber (V)	Drop Voltage (V)	V Inject (V)	V Sistem (V)	PW M
1	170	50	176,4	214	114
2	175	45	173,8	217	109
3	180	40	168,1	217	106
4	185	35	164,7	220	104
5	190	30	160,8	224	101
6	195	25	155,3	223	95
7	200	20	151,6	229	92
8	205	15	148,7	232	89
9	210	10	142,1	234	87
10	215	5	131,9	235	82
11	220	0	0	220	0

Berdasarkan data hasil pengujian tegangan sistem yang sama dengan tegangan refrensi yaitu pada saat *drop voltage* 35 V dengan tegangan sistem 220 V dan nilai PWM 104. Sementara itu tegangan sistem tertinggi yaitu 235 V dengan nilai PWM 82 dan *inject* tegangan sebesar 131,9 V.

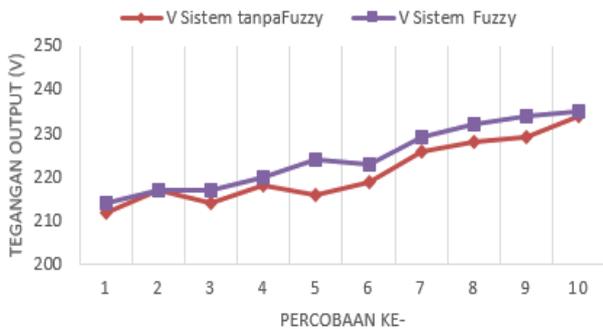
3. Perbandingan DVR Tanpa Kendali Fuzzy dan DVR Dengan Kendali Fuzzy

Berdasarkan data percobaan diatas telah dilakukan pengujian DVR secara keseluruhan tanpa menggunakan kendali *fuzzy* dan DVR dengan menggunakan kendali *fuzzy* untuk mengetahui selisih penggunaan kendali *fuzzy*. Berikut ini tabel perbandingan tegangan sistem menggunakan *fuzzy* dengan sistem tanpa *fuzzy* ditunjukkan oleh Tabel 5 dibawah ini :

Tabel 5. Perbandingan Tegangan Sistem (Sumber : Data Primer, 2018)

NO	V Sistem Fuzzy (V)	V Sistem Tanpa Fuzzy (V)	Error (%)
1	214	212	0,93
2	217	217	0
3	217	214	1,40
4	220	218	0,91
5	224	216	3,70
6	223	219	1,82
7	229	226	1,32
8	232	228	1,75
9	234	229	2,18
10	235	234	0,42
11	Error rata-rata		1,44

Tabel diatas merupakan *error* tegangan sistem menggunakan kendali *fuzzy* dan tegangan sistem tanpa *fuzzy*. Nilai *error* terbesar adalah 3,70 % dan selisih terkecil 0 %. Kemudian *error* tegangan sistem rata –rata adalah 1,44 %. Kemudian untuk grafik perbandingannya ditunjukkan oleh Gambar 12 dibawah ini :



Gambar 14. Grafik Perbandingan V Sistem dengan Kendali *Fuzzy* dan V Sistem Tanpa Kendali *Fuzzy*
(Sumber: Data Primer, 2018)

Dari grafik diatas tegangan sistem menggunakan kendali *fuzzy* lebih baik dari pada tegangan sistem tanpa menggunakan kendali *fuzzy* karena lebih mendekati tegangan referensi yaitu 220 V pada percobaan ke 4.

Pengujian DVR Dengan Beban

Drop voltage pada pengujian ini didapatkan dari penggunaan beban. Beban yang digunakan berupa lampu pijar 5 Watt yang berjumlah 4 buah kemudian dilakukan analisis perbandingan antara tegangan sistem tanpa menggunakan *fuzzy* dan tegangan sistem menggunakan *fuzzy*. Berikut ini gambar pengujian *Dynamic voltage restorer* dengan beban yang ditunjukkan oleh Gambar 15 dibawah ini :



Gambar 15. Pengujian DVR dengan Beban
(Sumber: Data Primer, 2018)

1. Pengujian DVR Tanpa Kendali *Fuzzy*

Berikut ini tabel pengujian dan pengambilan data DVR tanpa beban dengan sistem DVR tanpa menggunakan kendali *fuzzy* pada Tabel 6 dibawah ini :

Tabel 6. Pengujian DVR Tanpa Kendali *Fuzzy*
(Sumber : Data Primer, 2018)

Beban	V Ref (V)	PW M	Drop Voltage (V)	V Inject (V)	V Beban (V)
1 Lampu	228	82	57	165	235
2 Lampu	228	82	69	165	217
3 Lampu	228	127	74	235	230
4 Lampu	228	127	78	235	215

Pada hasil pengujian diatas didapatkan tegangan sistem yang paling mendekati tegangan referensi adalah pada saat menggunakan 3 lampu dengan tegangan beban 230 V dan tegangan sistem terendah diperoleh pada percobaan ke 4 menggunakan beban 4 lampu dengan tegangan sistem 215 V.

2. Pengujian DVR Dengan Kendali *Fuzzy*

Berikut ini tabel pengujian dan pengambilan data DVR tanpa beban dengan sistem DVR menggunakan kendali *fuzzy* pada Tabel 7 dibawah ini :

Tabel 7. Pengujian DVR Dengan Kendali *Fuzzy*
(Sumber : Data Primer, 2018)

Beban	V Ref (V)	PW M	Drop Voltage (V)	V Inject (V)	V Beban (V)
1 Lampu	228	76	57	156	229
2 Lampu	228	107	69	206	224
3 Lampu	228	114	74	229	226
4 Lampu	228	127	78	235	215

Sedangkan pada hasil pengujian dengan kendali *fuzzy* tegangan sistem yang mendekati tegangan referensi adalah pada saat menggunakan beban 1 lampu dan 3 lampu dengan tegangan beban 229 dan 226 V.

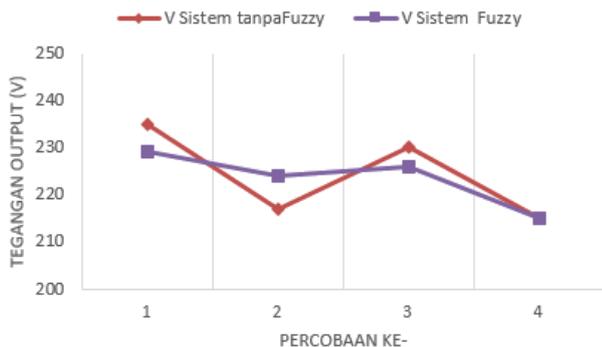
3. Perbandingan DVR Tanpa Kendali *Fuzzy* dan DVR Dengan Kendali *Fuzzy*

Berdasarkan data percobaan diatas telah dilakukan pengujian DVR secara keseluruhan baik tanpa menggunakan kendali *fuzzy* dan DVR dengan menggunakan kendali *fuzzy* dan dengan menggunakan beban. Berdasarkan data percobaan diatas telah dilakukan pengujian DVR secara keseluruhan tanpa menggunakan kendali *fuzzy* dan DVR dengan menggunakan kendali *fuzzy* untuk mengetahui selisih penggunaan kendali *fuzzy*. Berikut ini tabel perbandingan tegangan sistem menggunakan *fuzzy* dengan sistem tanpa *fuzzy* ditunjukkan oleh Tabel 8 dibawah ini :

Tabel 8. Perbandingan Tegangan Sistem
(Sumber : Data Primer, 2018)

NO	V Sistem <i>Fuzzy</i> (V)	V Sistem Tanpa <i>Fuzzy</i> (V)	Error (%)
1	229	235	2,55
2	224	217	3,22
3	226	230	1,73
4	215	215	0
5	Error rata-rata		1.87

Dari tabel diatas diketahui bahwa nilai *error* terbesar adalah 3,22 % dan selisih terkecil 0 % dengan tegangan sistem 215 V. Kemudian *error* tegangan sistem rata-rata adalah 1,87 %. Kemudian untuk grafik perbandingan antara tegangan sistem menggunakan kendali *fuzzy* dengan tegangan sistem tanpa menggunakan kendali *fuzzy* ditunjukkan oleh Gambar 16 dibawah ini :



Gambar 16. Grafik Perbandingan V Sistem dengan Kendali Fuzzy dan V Sistem Tanpa Kendali Fuzzy

(Sumber: Data Primer, 2018)

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan sistem menggunakan fuzzy lebih stabil dari tegangan sistem tanpa kendali fuzzy yang mengalami fluktuasi pada tegangan sistem. Tegangan sistem menggunakan kendali fuzzy mendekati tegangan referensi pada percobaan pertama dengan tegangan sistem 229 V dengan tegangan terendah adalah 215 V.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat di ambil kesimpulan bahwa Dynamic Voltage Restorer (DVR) berbasis kendali fuzzy-Arduino Uno sebagai kompensasi drop voltage telah berfungsi dengan baik dan telah dilakukan pengujian serta analisis.

Pada hasil pengujian pada percobaan tanpa beban perbandingan tegangan sistem antara DVR tanpa kendali fuzzy dan dengan kendali fuzzy didapatkan error terkecil 0 % dan error terbesar 3,70 % dan error rata-rata adalah 1,44 % dapat dilihat pada Tabel 5. Kemudian pada pengujian dengan beban perbandingan tegangan sistem antara DVR tanpa kendali fuzzy dan dengan kendali fuzzy error terkecil 0 % dan error terbesar 3,22 %. Sedangkan error rata-rata didapatkan 1,87 % dapat dilihat pada Tabel 8.

Saran

Agar alat ini memiliki performa dan kinerja yang lebih baik terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya yaitu meningkatkan kapasistas dari alat agar dapat digunakan pada beban yang lebih besar kemudian menggunakan mikrokontroller dengan kapasitas memori dan RAM yang lebih besar agar kinerja sistem menjadi lebih cepat dan presisi terutama jika menggunakan kendali fuzzy. Saran yang terakhir adalah menggunakan transformator yang berkualitas baik karena berpengaruh terhadap tegangan injeksi PWM inverter dan mengurangi adanya drop voltage karena penggunaan beban.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Agung. 2017. *Kompensasi Tegangan Drop Pada Penyulang Pakis PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung Dengan Penempatan Dynamic Voltage Restorer*. Skripsi SI tidak dipublikasikan. Bandar Lampung : Universitas Lampung
- Arduino Uno. 2019. *Arduino Uno Rev3*.(Online). ([https:// www.arduino.cc](https://www.arduino.cc), diakses pada tanggal 12 Januari 2019)
- Artanto, Dian. 2012. *Interaksi Arduino dan labVIEW*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Hamid, Abdul. 2015. "Implementasi Dynamic Voltage Restorer (DVR) Multifungsi Untuk Perbaikan Kualitas Daya". Makalah disajikan dalam *Seminar Teknologi Nasional, Institut Teknologi Nasional Malang*, hh 825-841.
- Imran M, Rasool. 2014. "Using of Dynamic Voltage Restorer (DVR) to Mitigate Sag & Swell Voltage during Single Line to Ground & Three-Phase Faults". *Journal lectrical & Electronics Engineering, Sam Higginbottom Institute of Agriculture, Technology & Sciences, Allahabad-India*, Vol 4, Iss.2, hh 180-188.
- Kusumadewi, Sri dan Purnomo, Hari. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Reznik, Leonid. 1997. *Fuzzy Controller*. Oxford : Newnes.
- Sumadi, Suryabrata. 2003. *Metode Penelitian*. Jakarta: Rajawali.
- Wibowo, Ratno dkk. 2010. *Kriteria disain enjinereng kontruksi jaringan distribusi tenaga listrik*. PT PLN : Jakarta.
- Winarso. 2013. "Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan Dynamic Voltage Restorer (DVR)". *Jurnal ilmiah foristek, Universitas Muhammadiyah Purwokerto*, Vol.3, No. 1, hh 236-241