

Implementasi Fuzzy Logic untuk Identifikasi Jenis Gangguan Tegangan secara Real Time

Ahmad Alvi Syahrin, Dimas Okky Anggriawan, dan Eka Prasetyono
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jalan Raya ITS Sukolilo, Kampus PENS, Surabaya 60111
e-mail: dimas@pens.ac.id

Abstrak—Di era modern, gangguan tegangan AC masih sering menjadi masalah. Gangguan ini menyebabkan penurunan kualitas daya hingga kerusakan peralatan. Gangguan tegangan dapat berupa gangguan durasi pendek dan durasi panjang. Gangguan tersebut terdiri dari enam jenis diantaranya *interruption*, *sag*, *swell*, *sustained-interruption*, *undervoltage* dan *overvoltage*. Untuk mempermudah perbaikan ketika terjadi gangguan tegangan pada sistem tenaga listrik, perlu adanya pengidentifikasian yang dapat mendeteksi dan membedakan setiap gangguan yang terjadi. Oleh karena itu, makalah ini mengusulkan metode *fuzzy logic* untuk mengidentifikasi 6 jenis gangguan tegangan. Pengidentifikasi jenis gangguan tegangan ini membutuhkan simulator gangguan sebagai sumber tegangan dengan nilai yang bervariasi. Untuk membedakan antara gangguan durasi pendek dan durasi panjang, adalah durasi waktu dari munculnya gangguan. Perencanaan algoritma identifikasi gangguan tegangan menggunakan *fuzzy inference system* sugeno dengan dua input yaitu magnitude V_{rms} dan timer, dan satu output yaitu jenis gangguan tegangan. Pada perancangan prototipe menggunakan sensor tegangan AMC1200, mikrokontroler, dan *display*. Untuk memvalidasi algoritma yang diusulkan, maka dibandingkan dengan alat ukur standar dan simulasi. Hasil menunjukkan algoritma yang diusulkan memiliki performa yang sangat baik dengan akurasi pengukuran dibanding alat ukur standar sebesar 99,8%.

Kata kunci: *gangguan tegangan, monitoring, identifikasi, fuzzy logic, real time*

Abstract—In the modern era, AC voltage variations are still often a problem. This variation causes power quality to decrease even damage the equipment. Voltage variations that often occur are short and long duration. The variation consists of 6 types, namely Interruption, Sag, Swell, Sustained-Interruption, Undervoltage, Overvoltage. The system needs to identify and distinguish any interference to facilitate repairs when there is a voltage variation in the electric power system. Therefore, this paper proposes a fuzzy logic method for identifying types of voltage variations. This type of voltage variation identifier requires a disturbance simulator as a voltage source with varying values. To distinguish between short duration and long duration disturbances, is the time duration of the trouble appears. The voltage variation identification algorithm's design uses the Sugeno fuzzy inference system with two inputs, namely magnitude V_{rms} and timer, and one output is the type of voltage interference. Moreover, prototype design using the AMC1200 voltage sensor, microcontroller, and display. To validate the proposed algorithm, compared with standard measuring tools and simulations. Results show that the proposed algorithm has an outstanding performance with accuracy than the standard measuring instrument of 99.8%.

Keywords: *voltage variation, monitoring, identification, fuzzy logic, real time*

Copyright © 2020 Jurnal Rekayasa Elektrika. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini, listrik merupakan salah satu kebutuhan primer yang harus terpenuhi di berbagai bidang. Sistem tenaga listrik memiliki keandalan yang tinggi ketika mampu memberikan energi listrik secara kontinu dengan kualitas daya yang baik yaitu nilai tegangan maupun frekuensinya yang konstan. *Electricity Supply Monitoring Initiative* (ESMI) merupakan proyek PLN untuk memantau listrik yang didistribusikan secara *real-time*, dengan merekam tegangan dan frekuensi serta durasi listrik padam yang terjadi. Dari hasil pemantauan, diketahui bahwa listrik dari PLN tidak selalu konstan [1].

Di dunia industri proses produksi bergantung pada kualitas dari listrik yang digunakan. Peralatan kontrol untuk produksi yang berbasis elektronika daya sangat sensitif terhadap perubahan tegangan [2].

Tegangan AC jika ditinjau dari nilai RMSnya memiliki dua kondisi yaitu: kondisi normal merupakan kondisi tegangan yang aman untuk peralatan, memiliki rentang nilai di atas 0,9 pu hingga di bawah 1,1 pu dari tegangan nominal. Kemudian kondisi tak normal atau gangguan merupakan kondisi di luar nilai tegangan normal. Berdasarkan IEEE std. 1159 [3], gangguan tegangan dibagi menjadi enam jenis yaitu *interruption*, *sag*, *swell*, *sustained-interruption*, *undervoltage* dan *overvoltage*.

Tabel 1. Kategori kondisi tegangan berdasarkan standart IEEE 1159

Kategori	Durasi Waktu	Besar Tegangan
1. Normal	-	$> 198 \text{ V} - < 242 \text{ V}$
2. Interruption	0,01 - 60 detik	$< 22 \text{ V}$
3. Sag	0,01 - 60 detik	$22 \text{ V} - 198 \text{ V}$
4. Swell	0,01 - 60 detik	$242 \text{ V} - 264 \text{ V}$
5. Sustained -interruption	$> 60 \text{ detik}$	$< 22 \text{ V}$
6. Undervoltage	$> 60 \text{ detik}$	$22 \text{ V} - 198 \text{ V}$
7. Overvoltage	$> 60 \text{ detik}$	$242 \text{ V} - 264 \text{ V}$

Kondisi tegangan dengan tegangan nominal 220 V, dapat dibagi menjadi tujuh kategori seperti pada Tabel 1.

Dengan adanya permasalahan kualitas daya khususnya pada tegangan, identifikasi secara cepat dan akurat menjadi penting untuk dilakukan [4], [5]. Hal ini dikarenakan gangguan jenis ini yaitu yang memiliki durasi gangguan sangat singkat, sering kali tidak terdeteksi dan tidak diketahui. Ketika masalah ini dibiarkan, dapat menyebabkan peralatan listrik yang terpasang pada jaringan mengalami kegagalan fungsi hingga penurunan *life time*.

Dalam perkembangannya, penelitian terkait identifikasi gangguan tegangan telah banyak dilakukan [6]-[8]. Akan tetapi, pada penelitian tersebut hanya menjelaskan mengenai identifikasi dua jenis gangguan tegangan yaitu *voltage sag* dan *voltage swell*. Dalam penerapannya, sistem yang ingin dibuat akan melakukan deteksi terhadap gangguan tegangan dan mengklasifikasikan jenis gangguan tegangan yang terjadi menggunakan metode *fuzzy logic*. Metode *fuzzy logic* dipilih karena telah dibahas oleh Abdelazeem [9], dan Martin [10]. Akan tetapi dalam kedua penelitian tersebut desain *fuzzy logic* yang digunakan kurang sederhana dan tidak digunakan untuk mengidentifikasi enam jenis gangguan.

Sehubungan dengan semua yang telah dibahas, maka tujuan dari makalah ini adalah pembuatan sistem yang dapat mengidentifikasi gangguan tegangan AC secara cepat dan akurat. Dimana penulis mengusulkan algoritma *fuzzy logic* yang lebih sederhana dan tepat sasaran untuk mengidentifikasi enam jenis gangguan tegangan. FIS yang digunakan adalah FIS Sugeno dengan dua jenis *input* dan satu macam *output*. Diharapkan dengan adanya sistem ini dapat menjadi bahan evaluasi untuk perbaikan kualitas daya pada suatu jaringan.

II. GANGGUAN TEGANGAN

Gangguan tegangan dibagi menjadi *Short Duration* (RMS) *Variation* dan *Long Duration* (RMS) *Variation*. SDV memiliki durasi hingga satu menit dan dibagi menjadi tiga jenis yaitu *interruption*, *sag*, dan *swell*. LDV memiliki durasi diatas satu menit dan dibagi menjadi tiga jenis yaitu *sustained-interruption*, *undervoltage*, dan *overvoltage* [11].

A. Interruption

Interruption merupakan gangguan yang terjadi ketika nilai tegangan kurang dari 10% dari tegangan nominal selama jangka waktu 0.01 detik sampai 1 menit. *Interruption* dapat disebabkan oleh gangguan sistem tenaga, kerusakan peralatan dan malfungsi kontrol.

B. Sag

Sag merupakan gangguan yang terjadi ketika nilai tegangan 10% hingga 90% dari tegangan nominal selama jangka waktu 0.01 detik sampai 1 menit. *Sag* dapat disebabkan oleh operasi *switching* yang terkait dengan pemutusan sementara suplai, aliran arus *inrush* yang terkait dengan *starting* beban motor atau aliran arus gangguan.

C. Swell

Swell merupakan gangguan yang terjadi ketika nilai tegangan 110% hingga 120% dari tegangan nominal selama jangka waktu 0.01 detik sampai 1 menit. *Swell* dapat disebabkan oleh pemadaman beban besar, *load shedding* dan *switching* pada kapasitor bank yang besar.

D. Sustained-Interruption

Sustained-interruption merupakan gangguan yang terjadi ketika nilai tegangan di bawah 10% dari tegangan nominal selama jangka waktu di atas 1 menit. *Sustained-Interruption* dapat disebabkan oleh gangguan sistem tenaga, kerusakan peralatan dan malfungsi kontrol yang menyebabkan pemutusan suplai menuju beban selama lebih dari 1 menit.

E. Undervoltage

Undervoltage merupakan gangguan yang terjadi ketika nilai tegangan 10% hingga 90% dari tegangan nominal selama jangka waktu di atas 1 menit. *Undervoltage* dapat disebabkan oleh keadaan *overload* atau beban lebih pada rangkaian dan operasi pensaklaran beban atau pemutusan kapasitor bank.

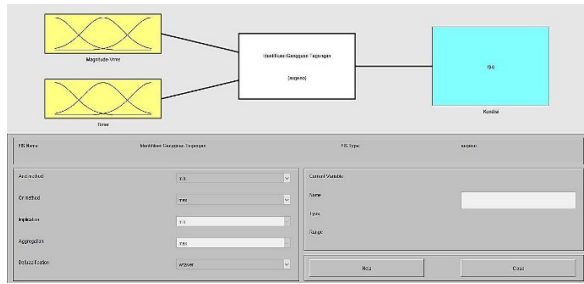
F. Overvoltage

Overvoltage merupakan gangguan yang terjadi ketika nilai tegangan di bawah 10% dari tegangan nominal selama jangka waktu di atas 1 menit. *Overvoltage* dapat disebabkan oleh operasi pensaklaran beban seperti *switching* dari sebuah beban besar atau kapasitor bank.

III. DESAIN DAN PERANCANGAN SISTEM

A. Algoritma Fuzzy Logic

Perencanaan desain *fuzzy logic* yaitu menentukan tipe FIS yang digunakan, yaitu menggunakan FIS Sugeno



Gambar 1. Desain fuzzy logic pada matlab

karena *output* dari Sugeno telah memiliki nilai *crisp*. Selain itu juga menentukan parameter *input* yang digunakan juga *rule base* kemudian yang terakhir yaitu nilai *output*.

Selain itu, perlu juga untuk mendesain bentuk algoritma fuzzy yang digunakan. Dimana pada sistem ini desain fuzzy logic yang digunakan didapatkan dari referensi jurnal kemudian penulis sesuaikan agar lebih sederhana dan dapat mengidentifikasi enam jenis gangguan tegangan. Desain fuzzy logic yang telah penulis modifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa pada sistem ini menggunakan dua macam variabel *input* dan satu variabel *output*.

a. Variabel *Input*

1. Magnitude Vrms

Merupakan nilai dari tegangan rms yang terukur setiap saat. Nilai efektif dari satu gelombang penuh tegangan AC.

2. Timer

Merupakan durasi waktu dari perubahan relatif nilai tegangan terhadap nilai tegangan nominal di luar batas toleransi. Toleransi yang dimaksud adalah 10% dari nilai nominal yang berarti nilai toleransi memiliki rentang > 198 sampai < 242 .

b. Variabel *Output*

1. Kondisi

Merupakan nilai yang menyatakan suatu kondisi dari tegangan pada jaringan. Nilai ini merupakan nomor urut dari kategori kondisi tegangan.

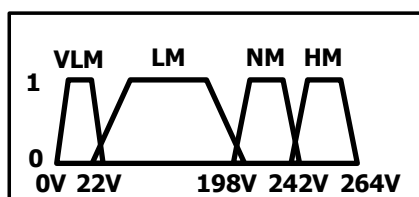
Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa variabel *input* *magnitude* Vrms dibagi menjadi empat label diantaranya yaitu:

a. VLM (*Very Low Magnitude*)

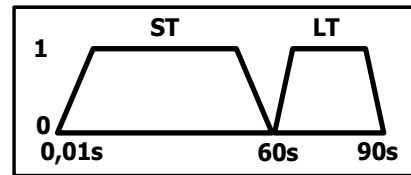
Rentang nilai yang masuk kategori VLM adalah $x1 < 22$ V

b. LM (*Low Magnitude*)

Rentang nilai yang masuk kategori LM adalah 22V



Gambar 2. Membership function plots variabel input magnitude Vrms



Gambar 3. Membership function plots variabel input timer

$$\leq x1 \leq 198 \text{ V}$$

c. NM (*Normal Magnitude*)

Rentang nilai yang masuk kategori NM adalah $198\text{V} < x1 < 242 \text{ V}$

d. HM (*High Magnitude*)

Rentang nilai yang masuk kategori HM adalah $x1 \geq 242 \text{ V}$

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa variabel *input* *timer* dibagi menjadi tiga label diantaranya yaitu:

a. ST (*Short Time*)

Rentang nilai yang masuk kategori ST adalah $0.01 \text{ s} \leq x2 \leq 60 \text{ s}$

b. LT (*Long Time*)

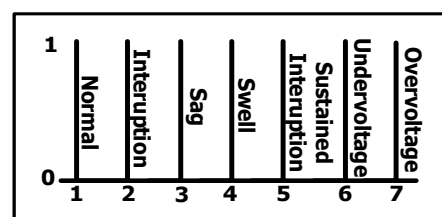
Rentang nilai yang masuk kategori LT adalah $x2 > 60 \text{ s}$

Dimana $x1$ merupakan nilai tegangan yang terukur dalam tegangan rms, pu merupakan per unit, dan $x2$ merupakan nilai waktu yang terukur dalam detik.

Rule Base dari sistem ini dari yang awalnya delapan *rule* (4x2) menjadi hanya tujuh *rule*. Hal ini dikarenakan terdapat dua *rule* yang memiliki nilai yang sama dan dapat dijadikan satu *rule*, sehingga didapatkan tujuh *rule* diantaranya yaitu:

1. *If (magnitude-Vrms is NM) then* (kondisi is normal)
2. *If (magnitude-Vrms is VLM) and (time is ST) then* (kondisi is interruption)
3. *If (magnitude-Vrms is LM) and (time is ST) then* (kondisi is sag)
4. *If (magnitude-Vrms is HM) and (time is ST) then* (kondisi is swell)
5. *If (magnitude-Vrms is VLM) and (time is LT) then* (kondisi is sustained-interruption)
6. *If (magnitude-Vrms is LM) and (time is LT) then* (kondisi is undervoltage)
7. *If (magnitude-Vrms is HM) and (time is LT) then* (kondisi is overvoltage)

Untuk *output* dari fuzzy logic yang penulis desain dapat dilihat pada Gambar 4. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa variabel *output* dibagi menjadi tujuh label



Gambar 4. Membership function plots variabel output kondisi

berdasarkan nomor urut. Hal ini berarti ketika *output* dari fuzzy logic = 1 maka artinya tegangan dalam kondisi normal, ketika *output fuzzy logic* = 2 maka artinya dalam kondisi *interruption* dan seterusnya.

B. Algoritma RMS

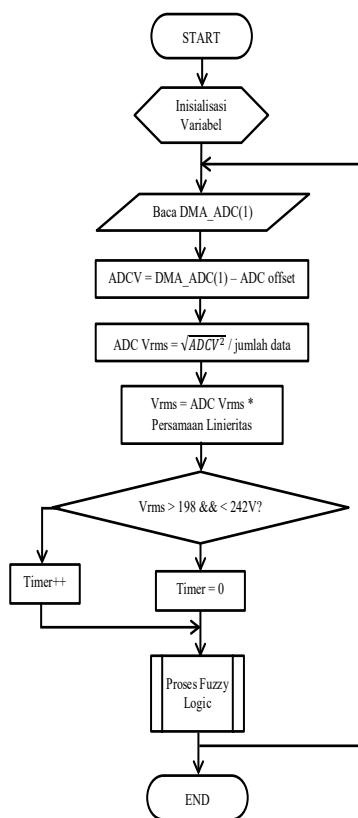
RMS (*Root Mean Square*) merupakan nilai efektif dari bentuk gelombang sinusoidal. Dimana nilai RMS adalah nilai yang ekuivalen dengan bentuk gelombang DC yang nilainya konstan. RMS biasanya digunakan untuk memudahkan dalam proses pengukuran. RMS biasa digunakan untuk mengukur nilai tegangan maupun arus dari bentuk gelombang non DC seperti contoh gelombang AC.

Persamaan (1) digunakan untuk menghitung nilai tegangan RMS pada gelombang sinus untuk *monitoring*

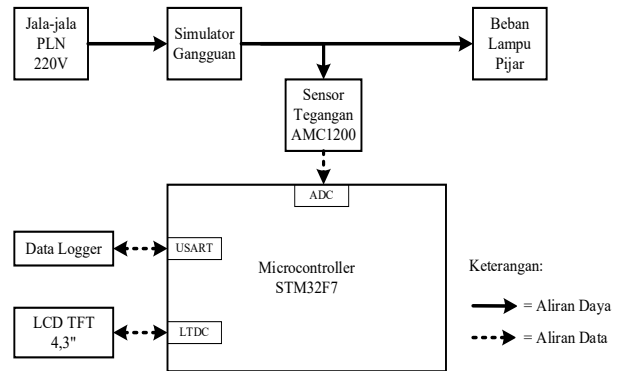
kualitas daya. Persamaan ini muncul berdasarkan pencuplikan data oleh mikrokontroler berdasarkan waktu tertentu atau biasa disebut frekuensi *sampling*.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{x} \sum_{i=1}^x V_i^2} \quad (1)$$

Dimana V_{rms} adalah nilai tegangan rms, x merupakan jumlah sampel, dan V_i nilai tegangan pada sampel ke- i . Nilai V_{rms} inilah yang akan dilanjutkan untuk proses selanjutnya yaitu penghitungan durasi gangguan (*timer*). Dimana nilai V_{rms} dan *timer* akan menjadi *input* dari proses *fuzzy logic* untuk identifikasi.



Gambar 5. Flowchart proses identifikasi gangguan tegangan



Gambar 6. Skema pengidentifikasi gangguan tegangan

C. Flowchart Proses Identifikasi Gangguan Tegangan

Gambar 5 memperlihatkan alur proses identifikasi gangguan tegangan menggunakan algoritma *fuzzy logic*. Proses dimulai dengan pencuplikan data sensor tegangan untuk proses ADC juga proses rms. Nilai rms ini ketika di luar toleransi maka akan memulai penghitungan durasi gangguan atau *timer* sehingga nilai V_{rms} dan *timer* dapat masuk menuju ke proses *fuzzy logic* dan didapatkan satu hasil yaitu kondisi tegangan.

D. Hardware System

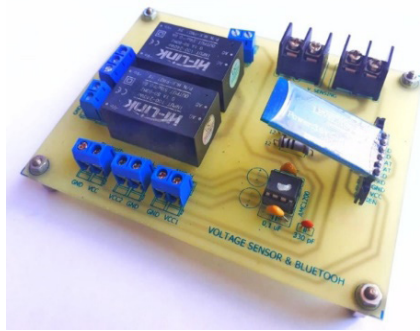
Pada bagian ini merupakan tahap implementasi. *Embedded system* untuk memproses algoritma yang diusulkan menggunakan mikrokontroler ARM STM32F7. Mikrokontroler ARM STM32F7 memiliki frekuensi 167 Mhz sehingga mampu memproses sinyal dengan akurasi dan kecepatan tinggi. Mikrokontroler ARM STM32F7 juga dilengkapi dengan ADC 12 bit. Selain itu pada mikrokontroler ARM STM32F7 juga terdapat *display* LCD TFT 4,3 yang dapat memudahkan dalam pengoperasian.

Skema pengidentifikasi gangguan tegangan berupa blok diagram dapat dilihat pada Gambar 6. Dimana untuk mendapatkan nilai tegangan yang bervariasi sebagai gangguan tegangan menggunakan simulator gangguan. Sehingga dari sumber 220 V menuju simulator gangguan kemudian menuju beban. Sensor tegangan mendeteksi sinyal tegangan dengan frekuensi *sampling* 5000 Hz. Dengan jumlah 100 data setiap satu proses ADC. Data diolah untuk mendapatkan nilai V_{rms} dan *timer* untuk input proses *fuzzy logic* untuk mengidentifikasi jenis gangguan tegangan. Implementasi dari *hardware system* berupa prototipe yang dapat dilihat pada Gambar 7.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengevaluasi algoritma yang diusulkan, pengujian dilakukan dengan menghubungkan simulator gangguan dengan beban lampu pijar secara seri dimana nilai tegangan dihubungkan secara paralel dengan prototipe serta multimeter digital seperti pada Gambar 8.

Pengujian pertama adalah pengujian sensor tegangan



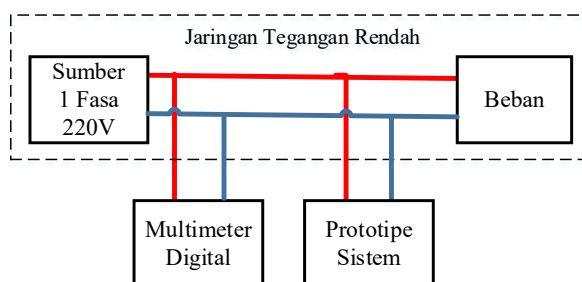
(a)



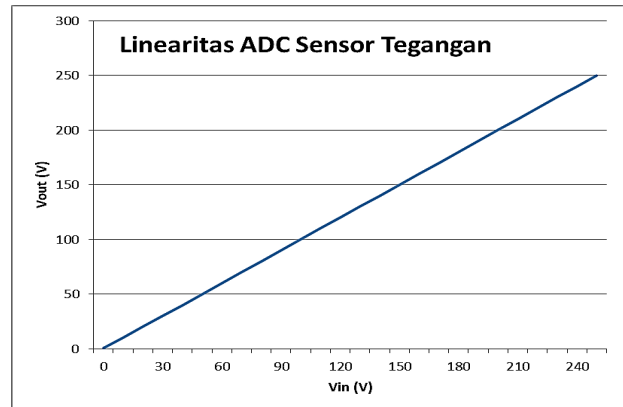
(b)

Gambar 7. Prototipe sistem (a) rangkaian *hardware* pada board (b) rangkaian *hardware* yang terintegrasi dengan mikrokontroler

AMC1200. Sensor tegangan AMC1200 akan membaca secara analog dari nilai tegangan yang terukur pada sistem yang terhubung dengan ADC mikrokontroler. Nilai dari pengukuran pembacaan ini juga dirubah menjadi nilai rms yang selanjutnya digunakan untuk menghitung durasi gangguan, V_{rms} dan *timer* kemudian digunakan sebagai input untuk proses *fuzzy logic*. Pengujian kedua adalah pengujian penghitung durasi gangguan atau *timer*. Pada pengujian ini digunakan untuk validasi kehandalan sistem dalam menghitung durasi ketika mulai terjadi gangguan. Pada pengujian ini *timer* dibandingkan dengan *stopwatch* yang dimulai bersamaan. Pengujian ketiga adalah pengujian untuk proses *fuzzy logic* menggunakan simulasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kehandalan algoritma yang telah didesain. Hasil simulasi *fuzzy logic* ini perlu dibandingkan dengan standart IEEE 1159 – 2019. Hasil pengujian simulasi ini juga digunakan untuk validasi data dengan hasil identifikasi gangguan tegangan pada prototipe. Pengujian terakhir adalah pengujian untuk validasi data hasil identifikasi gangguan tegangan oleh prototipe dibandingkan dengan simulasi.



Gambar 8. Pengujian sensor tegangan



Gambar 9. Perbandingan tegangan output terhadap tegangan input AMC1200

A. Pengujian Sensor Tegangan AMC1200

Pada pengujian ini digunakan untuk mengetahui kehandalan dari sensor tegangan yang telah dibuat. Dikarenakan *output* dari AMC1200 adalah lebih kecil dari nilai *input*nya. Sehingga perlu untuk mengetahui persamaan linieritas hubungan antara tegangan *input* dan tegangan *output*. Pada tegangan *output* nilai yang dapat dilihat merupakan nilai *Analog to Digital Converter* (ADC) pada mikrokontroler. Oleh karena itu perlu untuk mendapatkan persamaan linieritas untuk kalibrasi sensor tegangan.

Gambar 9 merupakan perbandingan tegangan *output* dengan tegangan *input*. Data hasil pengujian sensor tegangan yang telah terkalibrasi dan dibandingkan dengan pembacaan multimeter digital *true-rms* yang dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil pengujian tersebut didapat hasil bahwa sensor tegangan mampu membaca nilai tegangan dengan rata-rata *error* sebesar 0,2 %. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem memiliki akurasi pengukuran sebesar 99,8%.

B. Pengujian Algoritma Penghitung Durasi Gangguan

Pada pengujian ini dilakukan melalui *debug keil* yaitu dengan memasukkan nilai $x1$ yang merupakan nilai V_{rms} maka durasi gangguan atau *timer* akan mulai menghitung yaitu $x2$. *Stopwatch* dan nilai $x2$ dapat dilihat pada Gambar 10. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa dari penghitungan oleh sistem relatif sama dengan *stopwatch*. Dimana hanya memiliki selisih 0,03 detik dikarenakan perbedaan dalam memulai *stopwatch*.

C. Pengujian Algoritma Fuzzy Logic untuk Identifikasi

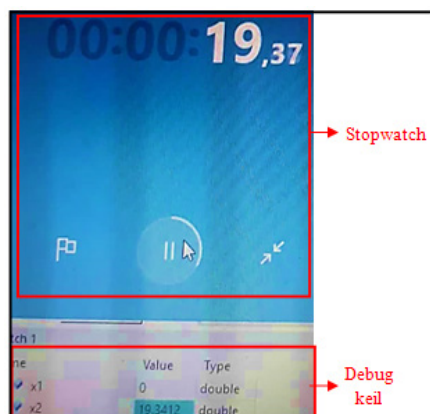
Dalam pengujian algoritma *fuzzy logic*, terlebih dahulu harus membuat desain *fuzzy logic* pada matlab kemudian dimodelkan menggunakan simulink. Dimana untuk bentuk simulasinya sendiri dapat dilihat pada Gambar 11. Nilai yang dimasukkan dalam simulasi *fuzzy logic* yaitu *magnitude* V_{rms} mulai dari 0 hingga 260 dengan step 10 dan *timer* dengan nilai 0,2; 30; 60; 61; 90. Langkah awal

Tabel 2. Hasil pengujian sensor tegangan dibandingkan multimeter

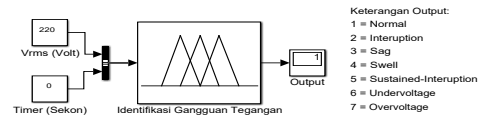
No	Pembacaan Multimeter (Volt)	Pembacaan Sistem (Volt)	Error	Akurasi
1	10,02	10	0,2%	99,8%
2	20,24	20,1	0,7%	99,3%
3	30,37	30,2	0,6%	99,4%
4	40,1	39,9	0,5%	99,5%
5	50,16	50	0,3%	99,7%
6	60,3	60,1	0,3%	99,7%
7	70,2	70	0,3%	99,7%
8	80,4	80,2	0,2%	99,8%
9	90,2	90,2	0,0%	100,0%
10	100,5	100,1	0,4%	99,6%
11	110,2	110	0,2%	99,8%
12	120,1	120,3	0,2%	99,8%
13	130,3	130,1	0,2%	99,8%
14	140,4	140,5	0,1%	99,9%
15	150,1	150	0,1%	99,9%
16	160	160	0%	100%
17	170,5	170,5	0,0%	100,0%
18	180,3	180,3	0,0%	100,0%
19	190,4	190,5	0,1%	99,9%
20	200,4	200,6	0,1%	99,9%
21	210,3	210,5	0,1%	99,9%
22	220,1	220,3	0,1%	99,9%
23	230,2	230,5	0,1%	99,9%
24	240	240,5	0,2%	99,8%
25	250,4	250,9	0,2%	99,8%
Rerata Error 0,2%				
Rerata Akurasi 99,8%				

untuk memulai simulasi yaitu dengan mengisi nilai AC source dan mengatur durasi simulasi, kemudian RUN.

Untuk pengujian algoritma *fuzzy logic* yang telah dibuat, hasil dari proses *fuzzy logic* perlu dibandingkan dengan standar IEEE 1159. Dimana standar tersebut jika disesuaikan dengan *fuzzy logic* dapat dilihat pada Tabel 3. Kemudian untuk hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 10. Hasil pengujian algoritma penghitung durasi gangguan

Gambar 11. Simulasi identifikasi gangguan tegangan dengan algoritma *fuzzy logic*Tabel 3. Standar kondisi tegangan dengan *fuzzy logic*

Standar			Voltage Condition
Magnitude (Vrms)	Timer (Sekon)	Output Fuzzy	
> 198 - < 242	-	1	normal
< 22	0,01 - 60	2	interruption
< 22	> 60	3	sustained-interruption
22 - 198	0,01 - 60	4	sag
22 - 198	> 60	5	undervoltage
242 - 264	0,01 - 60	6	swell
242 - 264	> 60	7	overvoltage

Tabel 4. Hasil 1 pengujian simulasi algoritma *fuzzy logic*

No	Vrms (Volt)	Timer (Sekon)	Output Fuzzy Logic
1	0	0,2	2
2	10	0,2	2
3	20	0,2	2
4	30	0,2	3
5	40	0,2	3
6	50	0,2	3
7	180	0,2	3
8	190	0,2	3
9	200	0,2	1
10	210	0,2	1
11	220	0,2	1
12	230	0,2	1
13	240	0,2	1
14	250	0,2	4
15	260	0,2	4
16	0	60	2
17	10	60	2
18	20	60	2
19	30	60	3
20	40	60	3
21	50	60	3
22	180	60	3
23	190	60	3
24	200	60	1
25	210	60	1
26	220	60	1
27	230	60	1

Tabel 5. Hasil 2 pengujian simulasi algoritma fuzzy logic

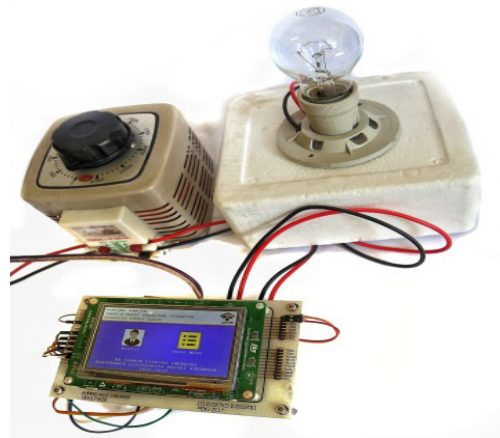
No	Vrms (Volt)	Timer (Sekon)	Output Fuzzy Logic
28	240	60	1
29	250	60	4
30	260	60	4
31	0	60,2	5
32	10	60,2	5
33	20	60,2	5
34	30	60,2	6
35	40	60,2	6
36	50	60,2	6
37	180	60,2	6
38	190	60,2	6
39	200	60,2	1
40	210	60,2	1
41	220	60,2	1
42	230	60,2	1
43	240	60,2	1
44	250	60,2	7
45	260	60,2	7
46	0	90	5
47	10	90	5
48	20	90	5
49	30	90	6
50	40	90	6
51	50	90	6
52	180	90	6
53	190	90	6
54	200	90	1
55	210	90	1
56	220	90	1
57	230	90	1
58	240	90	1
59	250	90	7
60	260	90	7

Berdasarkan tabel hasil pengujian, diketahui bahwa ketika *magnitude* Vrms bernilai 0; 10; 20 dan *timer* bernilai 0,2; 60 maka *output fuzzy* adalah 2 yang berarti *interruption*, hal ini “sesuai” dengan standar. *Interruption* memiliki karakteristik nilai tegangan < 22V dengan durasi gangguan 0,01 sampai 60 detik.

Kemudian ketika *magnitude* Vrms bernilai 30; 40; 50; 180; 190 dan *timer* bernilai 0,2; 60 maka *output fuzzy* adalah 3 yang berarti *sag*, hal ini “sesuai” dengan standar. *Sag* memiliki karakteristik nilai tegangan 22 V sampai 198 V dengan durasi gangguan 0,01 sampai 60 detik.

Ketika *magnitude* Vrms bernilai 200; 210; 220; 230; 240 maka *output fuzzy* adalah 1 yang berarti normal, hal ini “sesuai” dengan standar. Normal memiliki karakteristik nilai tegangan > 198 V sampai < 242 V.

Kemudian ketika *magnitude* Vrms bernilai 250; 260



Gambar 12. Pengujian prototipe identifikasi gangguan tegangan

dan *timer* bernilai 0,2; 60 maka *output fuzzy* adalah 4 yang berarti *swell*, hal ini “sesuai” dengan standar. *Swell* memiliki karakteristik nilai tegangan 242 V sampai 264 V dengan durasi gangguan 0,01 sampai 60 detik.

Ketika *magnitude* Vrms bernilai 0; 10; 20 dan *timer* bernilai 61; 90 maka *output fuzzy* adalah 5 yang berarti *sustained-interruption*, hal ini “sesuai” dengan standar. *Sustained-interruption* memiliki karakteristik nilai tegangan < 22 V dengan durasi gangguan > 60 detik. Kemudian ketika *magnitude* Vrms bernilai 30; 40; 50; 180; 190 dan *timer* bernilai 61; 90 maka *output fuzzy* adalah 6 yang berarti *undervoltage*, hal ini “sesuai” dengan standar. *Undervoltage* ini memiliki karakteristik nilai tegangan 22 V hingga 198 V dengan durasi gangguan > 60 detik.

Kemudian ketika nilai *magnitude* Vrms bernilai 250; 260 dan *timer* bernilai 61; 90 maka *output* dari *fuzzy logic* adalah 7 yang berarti *overvoltage*, hal ini jika dibandingkan dengan standar adalah “sesuai” dimana *overvoltage* memiliki karakteristik nilai tegangan 242 V sampai 264 V dengan durasi gangguan > 60 detik.

D. Pengujian Prototipe Identifikasi Gangguan Tegangan dibandingkan Simulasi dan Penelitian Sebelumnya

Pada pengujian ini dilakukan dengan menggunakan prototipe yang telah dibuat. Dimana prototipe dihubungkan diantara simulator gangguan dan beban lampu pijar 100 W seperti dapat dilihat pada Gambar 12. Simulator gangguan disini berupa *Variac* yang dapat membuat nilai tegangan bervariasi. Simulator gangguan akan diatur sehingga tercipta berbagai kondisi gangguan tegangan dengan nilai Vrms dan durasi gangguan yang bervariasi.

Dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 bahwa *output* dari prototipe adalah sama dengan *output* dari simulasi pada Tabel 4 dan Tabel 5. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem yang telah dibuat sangat baik dikarenakan memiliki rerata *error* 0%. Akan tetapi karena memiliki rerata *error* pengukuran 0,2% maka sistem memiliki akurasi pengukuran 99,8%. Kemudian untuk hasil algoritma *fuzzy logic* jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 6. Hasil 1 pengujian prototipe identifikasi gangguan tegangan dibandingkan simulasi

No	Input		Output Prototipe	Output Simulasi	Error Sistem
	Vrms (Volt)	Timer (Sekon)			
1	0	1	2	2	0%
2	10	1	2	2	0%
3	20	1	2	2	0%
4	30	1	3	3	0%
5	180	1	3	3	0%
6	190	1	3	3	0%
7	200	0	1	1	0%
8	210	0	1	1	0%
9	220	0	1	1	0%
10	230	0	1	1	0%
11	240	0	1	1	0%
12	250	1	4	4	0%
13	260	1	4	4	0%
14	0	60	2	2	0%
15	10	60	2	2	0%
16	20	60	2	2	0%
17	30	60	3	3	0%
18	180	60	3	3	0%
19	190	60	3	3	0%
20	200	0	1	1	0%
21	210	0	1	1	0%
22	220	0	1	1	0%
23	230	0	1	1	0%
24	240	0	1	1	0%
25	250	60	4	4	0%
26	260	60	4	4	0%

Tabel 7. Hasil 2 pengujian prototipe identifikasi gangguan tegangan dibandingkan simulasi

No	Input		Output Prototipe	Output Simulasi	Error Sistem
	Vrms (Volt)	Timer (Sekon)			
27	0	61	5	5	0%
28	10	61	5	5	0%
29	20	61	5	5	0%
30	30	61	6	6	0%
31	180	61	6	6	0%
32	190	61	6	6	0%
33	200	0	1	1	0%
34	210	0	1	1	0%
35	220	0	1	1	0%
36	230	0	1	1	0%
37	240	0	1	1	0%
38	250	61	7	7	0%
39	260	61	7	7	0%
40	0	90	5	5	0%
41	10	90	5	5	0%
42	20	90	5	5	0%
43	30	90	6	6	0%
44	180	90	6	6	0%
45	190	90	6	6	0%
46	200	0	1	1	0%
47	210	0	1	1	0%
48	220	0	1	1	0%
49	230	0	1	1	0%
50	240	0	1	1	0%
51	250	90	7	7	0%
52	260	90	7	7	0%

Tabel 8. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

Nama Penulis	Metode Identifikasi	Jenis Gangguan yang Diidentifikasi	Akurasi (%)
Abdelazeem (2012)	Kalman filter + Fuzzy logic	Interruption, Sag, Swell, Surge, Harmonic	98,71
Martin (2016)	Derrivative filter + Fuzzy Logic	Interruption, Sag, Swell	99,75
“Penulis” (2020)	Simplified Fuzzy Logic	Interruption, Sag, Swell, Sustained- Interruption, Undervoltage, Overvoltage	99,8

V. KESIMPULAN

Makalah ini menyajikan metode *Fuzzy Logic* untuk mengidentifikasi gangguan tegangan yang diimplementasikan oleh mikrokontroler ARM STM32F7. Beban yang digunakan untuk proses pengujian algoritma yang diusulkan adalah beban lampu pijar 100 W. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat

disimpulkan bahwa, hasil identifikasi menggunakan algoritma *fuzzy logic* mampu mengidentifikasi enam jenis gangguan yaitu *interruption*, *sag*, *swell*, *sustained-interruption*, *undervoltage* dan *overvoltage* yang sesuai dengan standar IEEE 1159. Dimana sistem memiliki akurasi pengukuran sebesar 99,8 % jika dibandingkan dengan alat ukur standar.

REFERENSI

- [1] Institute for Essential Services Reform (view Nov. 2019), “Laporan – Electricity Supply Monitoring Initiative,” *Institute for Essential Services Reform*, IESR. 5 Oct. 2017. [Online]. Available: <http://iesr.or.id/pustaka/laporan-electricity-supply-monitoring-initiative/>.
- [2] R. C. Dugan, and S. Santoso, *Electrical Power System Quality*, 2nd ed. Reading, MA: Mc. Graw Hill, 2004.
- [3] Transmission and Distribution Committee, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, IEEE std. 1159-2019, Jun. 2019.
- [4] D. J. Won, S. J. Ahn, and S. I. Moon, “A modified sag characterization using voltage tolerance curve for power quality diagnosis,” *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, no. 4, pp. 2638–2643, 2005.

- [5] R. H. G. Tan and V. K. Ramachandaramurthy, "Voltage sag acceptability assessment using multiple magnitude-duration function," *IEEE Trans. Power Del*, vol. 27, no. 4, pp. 1984–1990, 2012.
- [6] T. Santhanayaki and D. K. R. Valluvan, "Identification of sags and swells using pic microcontroller," *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, vol. 1, no. 12, pp. 011-016, 2013.
- [7] R. Naido and P. Pragasen, "A new method of voltage sag and swell detection," *IEEE Trans. Power Del*, vol. 22, no. 2, pp. 885-897, 2007.
- [8] C. N. Lu and C. C. Shen, "Voltage sag immunity factor considering severity and duration," *IEEE Power Eng. Soc. General Meeting*, vol. 1, no. 1, pp. 626-630, 2004.
- [9] A. A. Abdelsalam and A.A. Eldesouky, "Characterization of power quality disturbance using hybrid technique of kalman filter and fuzzy-expert system," *Electric Power Systems Research*, vol. 1, no. 83, pp. 41-50, 2012.
- [10] M. V. Rodriguez and D. G. Lieberman, "A new methodology for tracking and instantaneous characterization of voltage variations," *IEEE Trans. On Instrumentation And Measurement*, vol. 65, no. 7, pp. 0018-9456, 2016.
- [11] A. Kusko and M. T. Thompson, *Power Quality in Electrical System*, 2nd ed. Reading, MA: Mc. Graw Hill, 2007.