

Penyeimbangan Beban Sistem Kelistrikan Tiga Fasa Berbasis Fuzzy Logic

Three-Phase Electrical Sistem Load Balancing Based On Fuzzy Logic

Aji Ragasukma Sutejo^{1*}, Sutedjo², M Machmud Rifadil³, Regina Salsabila⁴
Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jalan Raya ITS, Sukolilo, Surabaya 60111
ajiragasukma@gmail.com^{1*}, sutedjo@pens.ac.id², mmrifadil@pens.ac.id³,
reginasalsabila1805@gmail.com⁴

Abstrak – Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dikarenakan pembagian beban satu fasa tidak merata. Membiarkannya dalam waktu lama akan menyebabkan arus netral. Ketidakseimbangan beban ini terjadi karena adanya perbedaan nilai arus yang signifikan pada setiap fasanya. Untuk mengatasi ketidakseimbangan beban yang berlebihan maka kami membuat penelitian penyeimbangan beban sistem kelistrikan tiga fasa berbasis Fuzzy Logic yang telah dirancang dengan standar ketidakseimbangan beban 5% menurut IEC yang membandingkan arus setiap fase. Logika Fuzzy mempunyai efek mendeteksi fasa dengan arus seperti saat fasa R mempunyai arus yang lebih banyak dari fasa yang tersisa. Relai akan memberikan efek memutus beban fasa R dengan skala prioritas terendah terlebih dahulu. Sebelum dilakukan penyeimbangan beban hasil presentase ketidakseimbangan beban sebesar 7.34%. Tindakan penyeimbangan beban membuat ketidakseimbangan beban menjadi 2.39%. Nilai ini sudah memenuhi standar ketidakseimbangan beban dari IEC.

Kata Kunci: Standar IEC, Fuzzy Logic, ketidakseimbangan beban.

Abstract – Load imbalance in an electric power distribution system always occurs due to the uneven distribution of single-phase loads. Leaving it on for a long time will cause a neutral current. This load imbalance occurs because there is a significant difference in the current value of each phase. To overcome excessive load imbalance, we conducted a study on balancing a three-phase electrical system based on Fuzzy Logic which has been designed with a 5% load imbalance standard according to the IEC, which compares the currents of each phase. Fuzzy logic detects phases with currents, such as when phase R has more current than the remaining phases. The relay will have the effect of breaking the R phase load with the lowest priority scale first. Prior to load balancing, the percentage of load imbalance was 7.34%. The load balancing action brings the load unbalance to 2.39%. This value meets the IEC load unbalance standard.

Keywords: IEC standard, Fuzzy Logic, load unbalance.

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan sumber tenaga yang sangat dibutuhkan manusia dalam kehidupan sehari-hari. Hampir semua peralatan industri menggunakan energi listrik, sehingga energi listrik menjadi kebutuhan primer. Listrik sudah menjadi kebutuhan yang utama dalam menjalankan aktivitas sehari-hari oleh kebanyakan masyarakat Indonesia, terutama mereka yang memanfaatkan perkembangan teknologi yang semakin pesat. Namun pada kenyataannya energi

listrik yang disalurkan belum optimal. Dalam pelaksanaannya masih banyak pembagian pada tiap fasa pada sistem kelistrikan tiga fasa yang tidak sama besarnya, sehingga arus pada tiap fasa berbeda [1]. Hal tersebut dapat menyebabkan rugi-rugi daya pada konsumen dan menyebabkan transformator daya mengalami panas berlebih sehingga memicu terjadinya kenaikan *temperature* pada sistem isolasi di transformator. Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah [2]. Sering terjadi ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi karena pemakaian alat-alat listrik dari konsumen. Ketidakseimbangan beban akan menyebabkan *losses* yang cukup besar pada arus netral antara tiap-tiap fasa pada trafo [3].

Ketidakseimbangan dalam beban dapat terbagi menjadi dua jenis, yakni ketidakseimbangan statis dan ketidakseimbangan dinamis. Ketidakseimbangan beban statis adalah ketidakseimbangan yang memiliki sifat yang konstan karena kurangnya perhatian terhadap keseimbangan sistem saat mengatur instalasi awal. Sementara itu, ketidakseimbangan beban dinamis adalah ketidakseimbangan yang berubah-ubah seiring waktu [4]. Kondisi ini dapat berlangsung selama beberapa menit atau jam. Ketidakseimbangan beban dinamis terjadi karena penggunaan beban non-linear yang umumnya digunakan baik dalam industri maupun rumah tangga. Motor induksi dan pengaturan kecepatan motor listrik merupakan faktor utama penyebab terjadinya beban non-linear di sektor industri [5].

Sedangkan dalam konteks rumah tangga, penggunaan perangkat seperti komputer, AC, lampu fluorescent, dan lain sebagainya juga menjadi penyebab ketidakseimbangan beban. Pada beban non-linear ini terdapat komponen semi konduktor yang dapat menghasilkan gelombang arus yang tidak berbentuk sinusoidal. Hal ini dapat berdampak pada pengukuran arus sekunder dan primer pada transformator. Ketidakseimbangan beban pada setiap fasa (RST) dapat menghasilkan arus pada kawat netral pembebanan sekunder pada transformator distribusi, yang akan berpengaruh pada sistem distribusi secara keseluruhan. Dampaknya antara lain termasuk kesalahan pengukuran energi, rugi-rugi daya, dan penurunan kualitas peralatan dalam sistem distribusi PLN [6]. Terjadinya arus netral yang tinggi pada beban yang tidak seimbang disebabkan oleh perbedaan sudut antara arus dan tegangan [7].

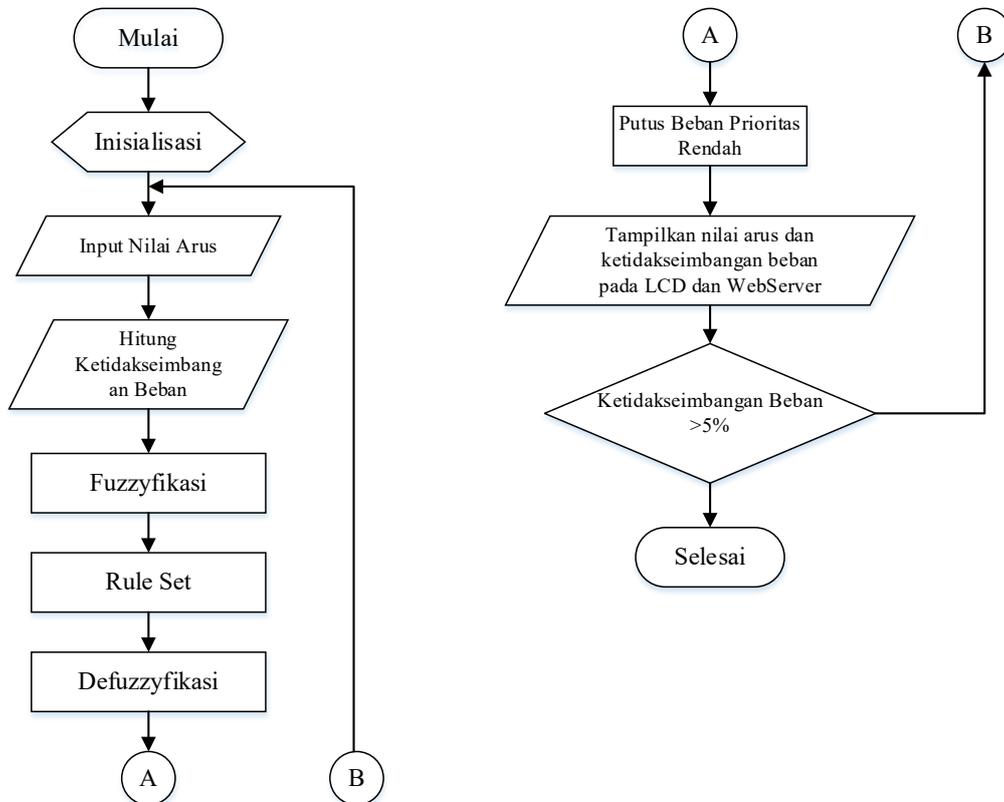
Sebagai hasil dari rugi-rugi tersebut, efisiensi transformator menjadi lebih rendah. Ketika terjadi ketidakseimbangan beban, toleransi ketidakseimbangan beban yang diperbolehkan adalah kurang dari 5% sesuai dengan standar ANSI/IEEE Std 446-1987. Oleh karena itu, penyeimbangan beban harus dilakukan [8]. Sebelumnya, sudah banyak penelitian yang dilakukan mengenai penyeimbangan transformator. Dalam penelitian ini, penulis akan menggunakan metode Fuzzy untuk melakukan penyeimbangan beban. Penggunaan metode Fuzzy dipilih karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan metode-metode sebelumnya, termasuk kecepatan pengolahan data yang lebih cepat daripada metode penyeimbangan beban sepanjang hari dan aplikasi Feeder Sikakap[9].

Teori Fuzzy adalah teori yang mudah dipahami karena didasarkan pada konsep matematis sederhana yang mendasari penalaran Fuzzy. Salah satu keunggulan dari logika Fuzzy adalah kemampuannya untuk langsung membangun dan menerapkan pengalaman pengguna tanpa melalui proses pelatihan tambahan. Selain itu, logika Fuzzy juga mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinier yang sangat kompleks dan dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kontrol konvensional [10].

Dalam mengurangi permasalahan *losses* atau rugi daya akibat adanya arus netral yang mengalir pada trafo. Maka pada penelitian ini merancang sebuah alat yang dapat melakukan penyeimbangan beban secara otomatis dengan cara melakukan pemutusan pada salah satu beban yang sudah dipertimbangkan skala prioritasnya dengan logika Fuzzy sehingga akan mencapai kondisi yang seimbang.

2. Metode Penelitian

Alur langkah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

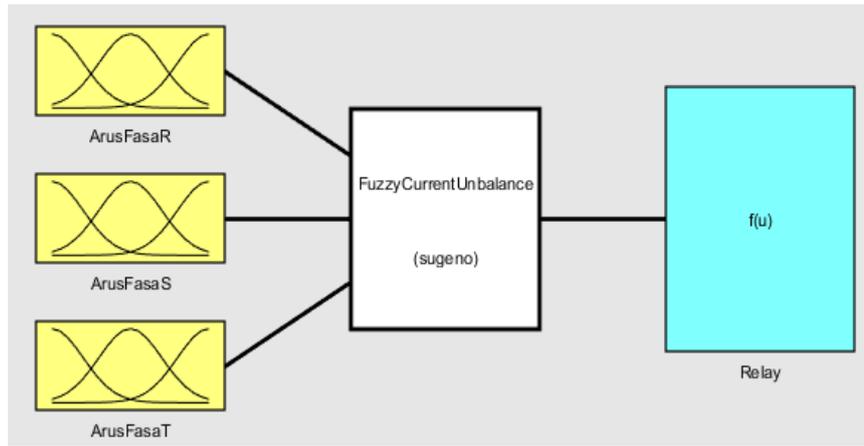


Gambar 1. Flowchart perancangan sistem.

Pada gambar 1 mengenai *flowchart* sistem dijelaskan bahwa sistem akan membaca nilai sensor arus, setelah itu menghitung nilai ketidakseimbangan beban tersebut. Saat terjadi ketidakseimbangan beban maka Fuzzy akan bekerja untuk memerintahkan *relay* memutuskan beban dengan skala prioritas terendah terlebih dahulu. Skala prioritas ditentukan dengan urutan dari beban tersebut. Beban nomor 1 ditentukan sebagai skala prioritas tertinggi hingga beban nomor 5 ditentukan sebagai prioritas yg terendah. Untuk tampilan nilai arus dan ketidakseimbangan beban digunakan LCD dan *Webserver* digunakan untuk menampilkan nilai ketidakseimbangan beban. Setelah ketidakseimbangan beban memenuhi standar maka sistem telah selesai.

2.1. Rancangan Keanggotaan Fuzzy

Perencanaan desain Fuzzy Logic yaitu menentukan tipe FIS yang digunakan, yaitu menggunakan FIS Sugeno karena *output* dari Sugeno telah memiliki nilai *crisp* dimana nilai *crisp* itu ada pada *output* yang bernilai 1 yang digunakan untuk memerintahkan *relay*. Selain itu juga menentukan parameter *input* yang digunakan juga *rule base* kemudian yang terakhir yaitu nilai *output*. Prosedur pengujiannya yaitu menguji ketidakseimbangan beban terlebih dahulu kemudian data dicatat saat ketidakseimbangan melebihi 5% maka dicatat untuk dimasukkan pada *rule base*. Variabel *input* yaitu saat arus memiliki 1 beban, 2 beban hingga 5 beban. Sedangkan variabel *output* sendiri ada 1 yang akan mengatur pemutusan 15 *relay* tersebut. Disini menggunakan *And method prod*, *Or method probor*, *implication min*, *Aggregation max*, dan metode *defuzzification wtaver*.

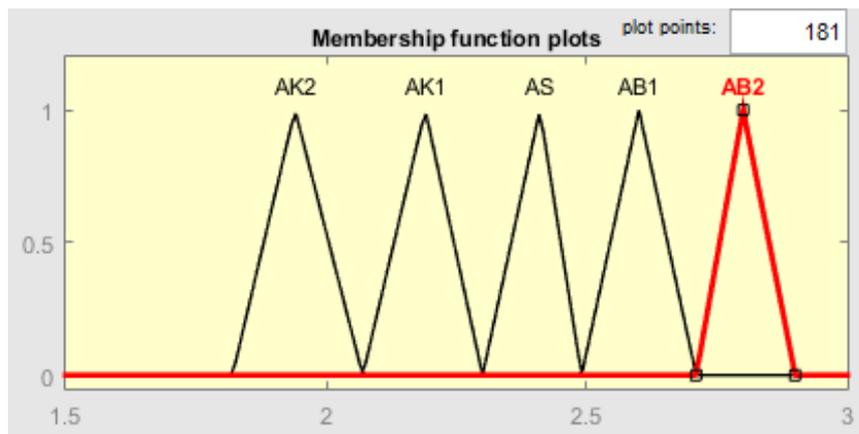


Gambar 2. Desain Fuzzy logic.

Dapat dilihat pada Gambar 2. bahwa sistem ini menggunakan 3 macam variabel *input* dan 1 variabel *output*.

2.1.1. Variabel Input

Terdapat 3 variabel *input* yaitu sebagai berikut:

Gambar 3. Variabel *input* Fuzzy Logic.

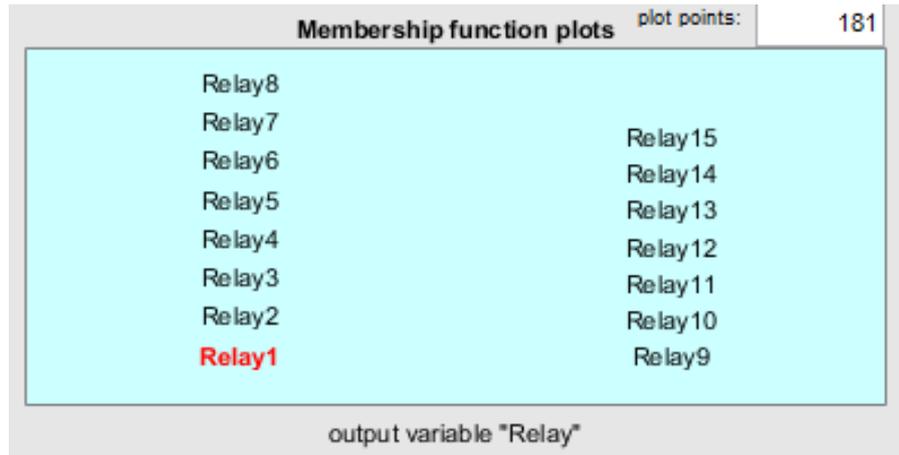
Dari Gambar 3. dapat dilihat bahwa variabel *input* dibagi menjadi 5 label diantaranya yaitu:

- AK2 : Arus Kecil 2 berada di *range* antara $1.82 \text{ A} \leq X \leq 2.07 \text{ A}$
- AK1 : Arus Kecil 1 berada di *range* antara $2.07 \text{ A} \leq X \leq 2.3 \text{ A}$
- AS : Arus Sedang berada di *range* antara $2.3 \text{ A} \leq X \leq 2.49 \text{ A}$
- AB1 : Arus Besar 1 berada di *range* antara $2.49 \text{ A} \leq X \leq 2.71 \text{ A}$
- AB2 : Arus Besar 2 berada di *range* antara $2.71 \text{ A} \leq X \leq 2.9 \text{ A}$

Kemudian pada variable *input* yang lain yaitu pada *input* fasa s dan fasa t memiliki nilai yang sama dikarenakan beban yang dipakai sama.

2.1.2. Variabel Output

Variabel *output* sendiri digunakan untuk memerintahkan *relay* pada saat melakukan pemutusan beban sesuai dengan *rule base* yang akan diatur. Keluarannya sendiri ada 1 dengan beranggotakan 15 mf sesuai dengan *relay* yang ada yaitu sebanyak 15 *relay*.

Gambar 4. Variabel *Output* Fuzzy Logic.

Dari nilai diatas maka nantinya akan digunakan pada saat memerintahkan pemutusan *relay* sesuai dengan nilai *relay*nya. Jadi setiap parameter dari 1 sampai dengan 15 berfungsi sebagai pengatur penyalan *switch* agar tidak terjadi *error* saat penyalan *relay/switch* itu sendiri.

2.1.3. Rule Base

Pada *rule base* sendiri disini berfungsi sebagai pengolah data dari *input* kemudian diolah pada *rule base* dan memerintahkan *output* untuk bekerja sesuai perintah dari *rule base*.

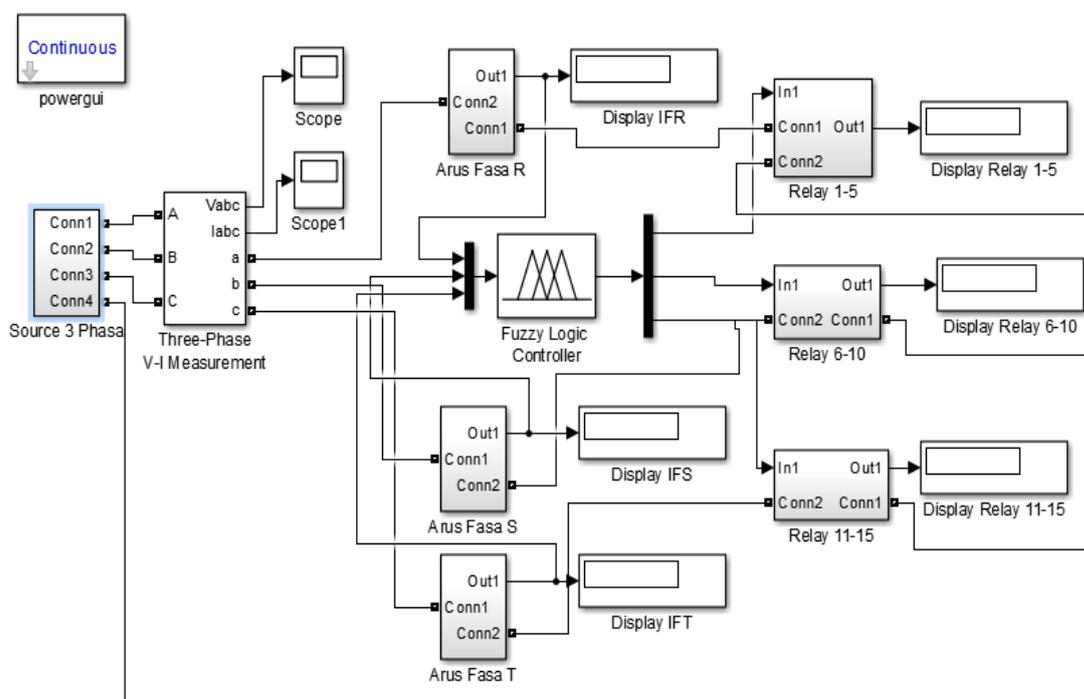
Tabel 1. Rule Base Fuzzy Logic

Rule No.	Rule Description
1	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay5</i>) (1)
2	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay4</i>) (1)
3	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay10</i>) (1)
4	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay9</i>) (1)
5	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AK1) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay5</i>) (1)
6	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AK1) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay4</i>) (1)
7	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AK1) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay15</i>) (1)
8	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AK1) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay14</i>) (1)
9	If (ArusFasaR is AK1) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay15</i>) (1)
10	If (ArusFasaR is AK1) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay14</i>) (1)
11	If (ArusFasaR is AK1) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay10</i>) (1)
12	If (ArusFasaR is AK1) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AB2) then (<i>Relay</i> is <i>Relay9</i>) (1)
13	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AB1) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay5</i>) (1)
14	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AB1) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay4</i>) (1)
15	If (ArusFasaR is AB2) and (ArusFasaS is AB1) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay9</i>) (1)
16	If (ArusFasaR is AB1) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay10</i>) (1)
17	If (ArusFasaR is AB1) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay9</i>) (1)
18	If (ArusFasaR is AB1) and (ArusFasaS is AB2) and (ArusFasaT is AK1) then (<i>Relay</i> is <i>Relay4</i>) (1)

Dalam proses Fuzzy Logic, nilai *input* pertama yang berupa arus fasa r, nilai *input* kedua berupa arus fasa s dan nilai *input* ketiga berupa arus fasa t akan terus diproses secara terus menerus sehingga didapatkan hasil yaitu kondisi pemutusan *relay* sesuai dengan *rule base*.

2.2. Rancangan Rangkaian Pengujian

Pada rangkaian pengujian ini untuk mengetahui hasil simulasi yang telah dibuat. Pada pengujian ini menggunakan sumber 3 fasa dimana tiap fasa terdapat 5 beban (R,L, dan C). Kemudian terdapat sensor arus pada tiap fasa untuk membaca arusnya. Untuk detail arus beban yaitu 5 beban = 2.595A, 4 beban = 2.573A, 3 beban = 2.409A, dan 2 beban = 2.189A. Fuzzy Logic digunakan untuk penyeimbangan beban dengan cara pemutusan beban dengan skala prioritas. Untuk pemutusan beban sudah diatur pada *rule base* pada perencanaan Fuzzy Logic dimana yang dianggap beban prioritas yaitu beban yang menggunakan daya besar. Detail urutan beban prioritas yaitu setrika 350W(Beban R), beban yang kedua yaitu kipas dinding 55W(Beban L), beban ketiga yaitu lampu pijar 40W(Beban R), beban keempat yaitu ballast 36W(Beban L) dan beban kelima yaitu lampu LED 4W(Beban R). Pengujian dilakukan dengan menggunakan simulasi pada matlab dan dirangkai dengan rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 5



Gambar 5. Rangkaian pengujian.

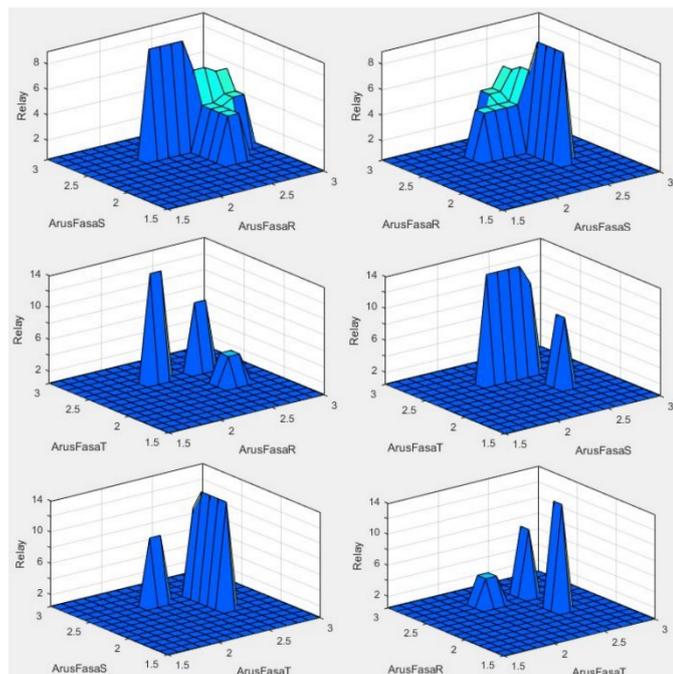
3. Hasil dan Pembahasan

Pada Penelitian penyeimbangan beban sistem kelistrikan tiga fasa ini dilakukan dengan mematikan beberapa beban sehingga terjadi ketidakseimbangan beban dan Fuzzy Logic akan memerintahkan *relay* untuk dilakukan pemutusan beban dengan skala prioritas terendah. Setiap fasa dihubungkan dengan beban resistor dan inductor, kemudian pengujian dilakukan dengan mengatur nilai pada setiap resistor dengan nilai beban yang akan digunakan dengan beban yang pertama yaitu setrika 350W(Beban R), beban yang kedua yaitu kipas dinding 55W(Beban L), beban ketiga yaitu lampu pijar 40W(Beban R), beban keempat yaitu ballast 36W(Beban L) dan beban kelima yaitu lampu LED 4W(Beban R). Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Ketidakseimbangan Beban

No	Beban			I (A)			I Unbalance (%)
	R	S	T	R	S	T	
1	5 beban	5 beban	5 beban	2.60	2.60	2.595	0.00
2	5 beban	5 beban	4 beban	2.60	2.60	2.573	0.38
3	5 beban	5 beban	3 beban	2.60	2.60	2.409	3.26
4	5 beban	5 beban	2 beban	2.60	2.60	2.189	7.34
5	5 beban	4 beban	4 beban	2.60	2.57	2.573	0.38
6	5 beban	4 beban	3 beban	2.60	2.57	2.409	3.08
7	5 beban	4 beban	2 beban	2.60	2.57	2.189	7.16
8	5 beban	3 beban	3 beban	2.60	2.41	2.409	3.35
9	5 beban	3 beban	2 beban	2.60	2.41	2.189	5.80
10	5 beban	2 beban	2 beban	2.60	2.19	2.189	7.76
11	4 beban	4 beban	4 beban	2.57	2.57	2.573	0.00
12	4 beban	4 beban	3 beban	2.57	2.57	2.409	2.89
13	4 beban	4 beban	2 beban	2.57	2.57	2.189	6.98
14	4 beban	3 beban	3beban	2.57	2.41	2.409	2.46
15	4 beban	3 beban	2beban	2.57	2.41	2.189	2.39
16	3 beban	3 beban	3beban	2.41	2.41	2.41	0.00
17	3 beban	3 beban	2beban	2.41	2.41	2.189	2.34
18	3 beban	2 beban	2beban	2.41	2.19	2.189	2.26

Kemudian hasil diatas dijadikan acuan untuk menentukan *rule base*. Sehingga pemutusan beban bisa dilakukan sesuai dengan *rule base* yang telah diatur. Ketika hasil *output* bernilai 5 maka *relay* 5 menyala dan memutuskan beban 5. Pada tabel diatas terlihat bahwa kondisi tidak seimbang ($I \text{ Unbalance} > 5\%$) ada pada tabel nomer 4, 7, 9, 10, 13. Berikut hasil dari himpunan Fuzzy yang di hitung dengan menggunakan matlab menghasilkan grafik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil surface rules Fuzzy Logic dalam penyeimbangan beban

Setelah pembuatan *rule base* dengan urutan skala prioritas yaitu setrika 350W(Beban R), beban yang kedua yaitu kipas dinding 55W(Beban L), beban ketiga yaitu lampu pijar 40W(Beban R), beban keempat yaitu ballast 36W(Beban L) dan beban kelima yaitu lampu LED 4W(Beban R). Maka kita dapatkan hasil saat menggunakan 5 beban pada fasa R dan S, 2 beban pada fasa T hasil presentase ketidakseimbangan beban yaitu 7.34%. Sesuai dengan *rule base* yang telah dibuat maka dilakukan pemutusan beban pada fasa R 1 beban dan fasa S 2 beban sehingga presentase ketidakseimbangan beban menjadi 2.39%. Hal tersebut sesuai dengan standar presentase ketidakseimbangan beban yang maksimal bernilai 5%

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa untuk menyeimbangkan beban dalam kondisi tidak seimbang dilakukan pemutusan beban dengan skala prioritas terendah terlebih dahulu. Penggunaan Fuzzy Logic Sugeno yang telah diatur *rule base*-nya untuk memutuskan *relay* membuat beban menjadi kondisi seimbang atau ketidakseimbangan beban. Hal ini telah diatur dalam standar IEC yaitu standar ketidakseimbangan beban dibawah 5%. Pada saat menggunakan 5 beban pada fasa R dan S, 2 beban pada fasa T hasil presentase ketidakseimbangan beban yaitu sebesar 7.34%. Sesuai dengan *rule base* yang telah dibuat maka dilakukan pemutusan beban pada fasa R 1 beban dan fasa S 2 beban sehingga presentase ketidakseimbangan beban menjadi 2.39%.

Referensi

- [1] Osea Zebua,dkk, "Monitoring Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Berbasis Internet Of Things." Lampung: *Jurnal ECOTIPE Teknik Elektro universitas Lampung. Vol.15 No. 2 p.146-152*, 2020.
- [2] Fazari Abdillah dkk., "Penyeimbang Beban Pada Gardu Distribusi Dengan Metode Seimbang Beban Sehari Di PT. PLN Area Bukittinggi", *Tek. Pomit Vol.1 No.1 p1-6*, 2014.
- [3] Doni Aprinaldo dkk, "Optimasi Penyeimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Terhadap Susut Energi (Aplikasi Feeder Sikakap)", *Jurnal Teknik Elektro 4, no. 1, p.65-70*, 2015.
- [4] Jefri, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Trafo Distribusi 20 KV", *Sei Pakning*, 2013.
- [5] Moh, Dahlan, "Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi", *Kudus: ISSN 6870*, 2005.
- [6] Antonov dkk, "Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator dengan Metode Seimbang Beban Sehari (SBS) pada Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon Kayu Aro", *Jurnal Teknik Elektro ITP, Vol. 6, No. 1*, 2017
- [7] Zainal Sya'roni, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 KV Dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah". *Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya*. 2019.
- [8] C. Hesining,. *IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Power System, IEEE Inc., New York*. 1987.
- [9] I Putu Weda Suryawan dkk., "Analisis Penyeimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Menggunakan Metode Fuzzy". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 17, No. 1*, 2018.
- [10] Kusumadewi, S. *Analisa dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab. Yogyakarta: Graha Ilmu*. 2002.