pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v22i1.xxxxx

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KETIDAKSEIMBANGAN PEMBEBANAN TRAFO DISTRIBUSI 3 PHASE MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA BERBASIS IOT

Rama Alya Rozin Pintaka[1)], Dista Yoel Tadeus[2)]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH, Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275
ramaalya@students.undip.ac.id[1)], distayoel@gmail.com[2)]

ABSTRACT

The load current in each phase does not have the same value, and the neutral current does not equal zero, which can result in power losses. This condition is caused by uneven load distribution across each phase during transformer operation, as well as differences in the operating times of consumer loads. Based on this situation, a load imbalance monitoring system was developed. The system utilizes the ESP-8266 Wemos D1 Mini Wi-Fi module to transmit sensor measurement data and provide warnings through the ThingSpeak website when load imbalance exceeds the applicable limit (>25% according to SPLN 12:1978). The data are obtained from measurements using the PZEM-004T sensor, with a measurement error ranging from 0.02–0.05%, and are then processed by an Arduino Mega 2560. When a load imbalance occurs, the microcontroller activates a buzzer and sends a warning notification to Twitter through the ThingSpeak website. Load control is performed manually by simulating different loads on each phase, resulting in the presence of neutral current.

Keywords: Arduino Mega 2560, Losses, Current, Neutral Current, Load Imbalance, Transformer, PZEM-004T Sensor, ESP-8266 Wemos D1 Mini, ThingSpeak, Inductive Load.

PENDAHULUAN

Trafo distribusi merupakan suatu komponen yang digunakan untuk penyaluran listrik dari gardu distribusi ke konsumen atau pelanggan. Sistem menggunakan jaringan tegangan rendah dengan transformator distribusi yang memiliki sisi sekunder belitan hubungan Bintang atau ”Wye” sehingga arus pada setiap fasa (R, S, dan T) memiliki nilai yang sama serta arus pada netral bernilai nol dalam teorinya. Tetapi pada kenyataanya di lapangan, arus pada tiap-tiap fasa tidak memiliki nilai yang sama dan nilai arus netral tidak bernilai nol yang dapat mengakibatkan rugi-rugi, hal ini dikarenakan adanya pembagian pembebanan setiap fasa yang tidak rata pada saat trafo dioperasikan serta waktu penyalaan beban konsumen yang tidak sama. Kebutuhan daya yang terus meningkat perlu diikuti dengan penyaluran energi listrik yang andal dan aman maka loses-loses yang terjadi pada trafo harus dikurangi. Maka dari itu, diperlukan peralatan yang dapat memantau arus dan tegangan setiap fasa serta persentase ketidakseimbangan beban transformator distribusi yang dapat memberikan infomasi kepada pengguna (operator) melalui IoT, sehingga dapat dilakukan pemantauan kapanpun dan dimanapun oleh operator serta dapat melakukan tindaklanjut jika terdapat pembebanan yang tidak merata.

METODE PENELITIAN

Transformator

Miniatur trafo 3 fasa ini merupakan trafo yang bertindak sebagai simulator yang memiliki peran memisahkan instalasi listrik sumber dengan instalasi listrik rangkaian pengujian. Trafo ini memiliki daya 750 watt yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik AC dengan konfigurasi Yy0 karena memiliki R, S, T, dan netral pada kedua sisinya. Secara umum, trafo mampu menaikkan dan menurunkan nilai tegangan dan arus dari suatu sumber, tanpa mengubah frekuensi dan jumlah daya listrik yang ditransmisikan dari satu kumparan ke kumparan lainnya melalui induksi magnetik. Induksi magnetik adalah terjadinya gaya gerak listrik dalam suatu kumparan akibat perubahan medan magnet.

Ketidakseimbangan Beban

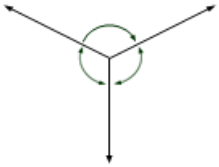
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang merupakan suatu keadaan di mana:

1. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.

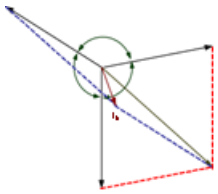
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120º satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120º satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120º satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120º satu sama lain.



Gambar 1. Vektor Diagram Arus Seimbang



Gambar 2. . Vektor Diagram Arus Tidak Seimbang

Gambar 1 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR, IS, IT) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (IN). Sedangkan pada Gambar 2.2 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR, IS, IT) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (IN) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya. Sebagai akibat dari pembebanan yang tidak seimbang pada trafo maka akan menimbulkan rugi-rugi (*losses*) energi.

Menurut SPLN 12:1978, ketidakseimbangan beban akibat perbedaan pada arus antar fasa tidak boleh melebihi 25% dan Edaran Direksi PT PLN (PERSERO) NOMOR : 0017 .ElDlRl2014 tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset pada Tabel 7. Matriks *online assessmenf tier*-1 pada trafo distribusi memperlihatkan bahwa terdapat indikator *index health* untuk ketidakseimbangan arus antar fasa yaitu baik 0 % - < 10 %; cukup 10% -<20%; kurang 20% - 25 %; dan buruk >25%.

Arduino Mega 2560



Gambar 3. Papan Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 pada tugas akhir ini digunakan untuk mengatur seluruh kerja sistem dan memproses data hasil pembacaann sensor PZEM-004T dengan menggunakan komunikasi serial.

Sensor PZEM-004T

Rangkaian sensor terdiri dari 4 sensor PZEM-004T 100 A yang terhubung oleh fasa R, Fasa S, Fasa T, dan penghantar netral. Untuk pengukuran tegangan, sensor terhubung langsung dengan setiap penghantar. Sedangkan untuk pengukuran arus, sensor PZEM-004T menggunakan CT yang dikalungkan pada setiap penghantar yang akan diukur.

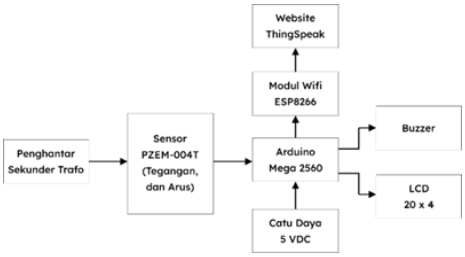
Sensor PZEM-004T dengan Arduino Mega 2560 terhubung dengan pin 5V, Rx, Tx, dan Ground. Pin Tx pada sensor dihubungkan pada Pin Rx Arduino, hal ini dikarenakan pada saat sensor mengirimkan data hasil pembacaan (*transmitter*) maka Arduino akan menerima hasil pembacaan tersebut (*receiver*). Hal ini juga berlaku sebaliknya untuk Pin Rx sensor dihubungkan dengan Pin Tx Arduino.

Thingspeak

ThingSpeak merupakan website yang dirancang untuk Internet of Thinks (IoT). Website ini digunakan untuk menampilkan, menyimpan data (*logger)*, dan visualisasi data.

Dalam menampilkan data yang terbaca oleh sensor, sistem monitoring ini menggunakan IoT untuk memantau dan menampikan besarnya beban setiap fasa dan ketidakseimbangan pembebanan serta indikator rangkaian jika terjadi ketidakseimbangan beban diluar batas standar SPLN sekaligus sebagai *data logger* sistem.

Diagram Blok



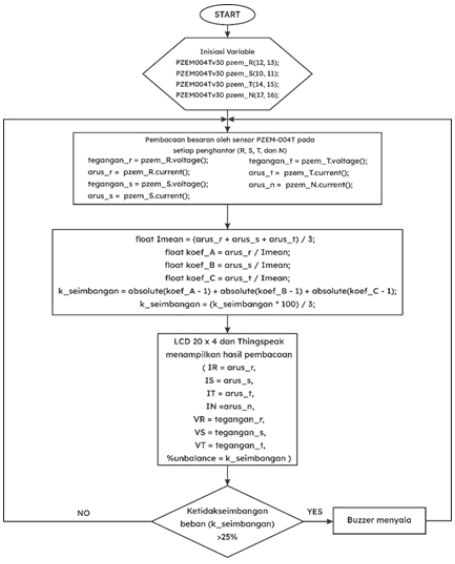
Gambar 4. Diagram Blok Alat

Pada Gambar 4 diagram blok tersebut menjelaskan alat ini memiliki 3 unsur, yaitu unsur masukan (*input*), proses, dan keluaran (*output*).

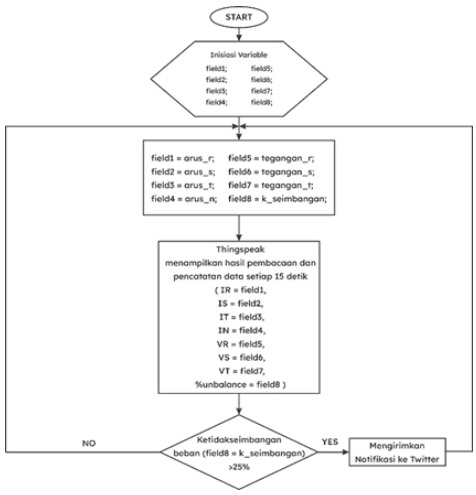
1. Unsur masukan (*input*) terdiri catu daya 5VDC dan modul sensor PZEM-004T.
2. Unsur proses yaitu menggunakan Arduino Mega 2560.
3. Unsur keluaran (*output*) terdiri dari tampilan LCD, buzzer, dan tampilan serta *data logger* pada *Website ThingSpeak*.

Flowchart

Pada alat ini akan disimulasikan mengenai prinsip ketidakseimbangan beban di trafo yang mana ketika trafo mengalami ketidakseimbangan beban (>25% sumber: SPLN 12:1978) maka indikator peringatan *Buzzer* akan menyala dan *website* Thingspeak akan mencatatkan pembacaan sensor.



Gambar 5. *Flowchart* Mikrokontroler



Gambar 6. *Flowchart* Thingspeak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah seluruh komponen dan seluruh sistem dapat berjalan normal. Dimana, keadaan beban seimbang, arus netral akan mendekati nol atau dan apabila beban tidak sembang satu sama lain maka arus netral akan semakin besar.



Gambar 7. Pengujian Ketidakseimbangan Beban

Seluruh hasil perhitungan ketidakseimbangan beban tertera pada Table 1.

Tabel 1. Pengujian Ketidakseimbangan Beban

Percobaan	Fasa	Beban (W)	Arus (A)	Arus Netral	Persentase Ketidakseimbangan Beban	Indikasi
1.	R	100	0,44	0,44 A	133 %	Buruk
	S	0	0			
	T	0	0			
2.	R	100	0,44	0,43 A	66,67 %	Buruk
	S	100	0,40			
	T	0	0			
3.	R	100	0,44	0,08 A	3,73 %	Baik
	S	100	0,40			
	T	100	0,41			
4.	R	200	0,86	0,43 A	26,67 %	Buruk
	S	200	0,78			
	T	100	0,41			
5.	R	200	0,86	0,15 A	3,54 %	Baik
	S	200	0,78			
	T	200	0,81			
6.	R	100	0,44	0,35 A	26,85 %	Buruk
	S	225	0,84			
	T	225	0,93			
7.	R	100	0,43	0,05 A	1,59 %	Baik
	S	100	0,41			
	T	100	0,42			
8.	R	125	0,54	0,41 A	47,7 %	Buruk
	S	125	0,51			
	T	100	0,11			
9.	R	125	0,51 (PF : 0,97)	0,49 A	47,2 %	Buruk
	S	125	0,51			
	T	100	0,11			

Pada pengujian ketidakseimbangan beban dilakukan dengan menyimulasikan beban dengan variasi beban yang ada yaitu 2 lampu pijar 100 Watt dan 1 lampu pijar 25 Watt per fasa serta 1 kipas angin 25 Watt. Simulasi ketidakseimbangan beban akan membuktikan apakah jika pembebanan antar fasa tidak sama maka arus netral akan muncul. Persentase ketidakseimbangan beban didapatkan dengan persamaan

$$Unbalance\ Load\ (\%) = \frac{((|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} x\ 100\%$$

Dengan mengambil contoh data percobaan ke 4 maka hasilnya sebagai berikut:

$$Irata - rata = \frac{0{,}86 + 0{,}78 + 0{,}41}{3}$$

$$Irata - rata = 0{,}683\ A$$

$$a = \frac{I_R}{Irata-rata} = \frac{0{,}86}{0{,}683} = 1{,}258$$

$$b = \frac{I_S}{Irata-rata} = \frac{0{,}78}{0{,}683} = 1{,}1414$$

$$c = \frac{I_r}{Irata-rata} = \frac{0{,}41}{0{,}683} = 0{,}6$$

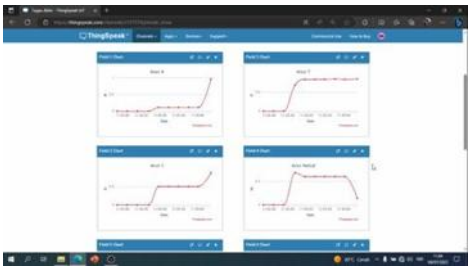
$$Unbalance\ Load\ (\%) = \frac{((|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} x\ 100\%$$

$$Unbalance\ Current\ (\%) = \frac{((|1{,}258-1| + |1{,}1414-1| + |0{,}6-1|)}{3} x\ 100\%$$

$$Unbalance\ Current\ (\%) = 26{,}7\%$$

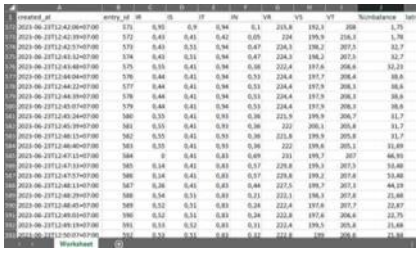
Thingspeak

Alat ini terhubung dengan website Thingspeak dalam pemantauannya. Thingspeak menampilkan hasil pembacaan Arus R, S, T, dan N serta tegangan R, S, T, dan %*unbalance* seperti Gambar 8.



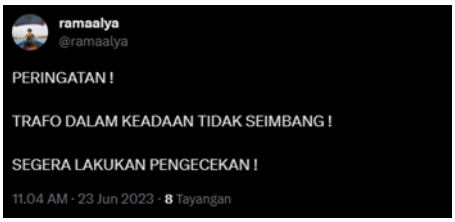
Gambar 8. Tampilan Thingspeak

Selain itu Thingspeak juga memiliki fitur pencatatan data sesuai yang terbaca pada sistem. Dapat dilihat hasil pencatatan data percobaan pada Gambar 9.



Gambar 9. *Data Logger*

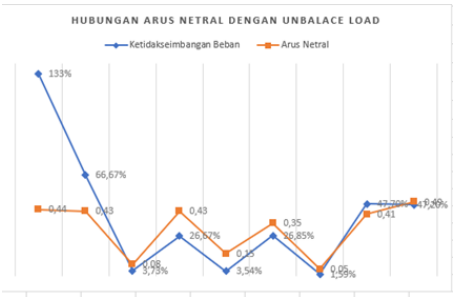
Thingspeak juga memiliki fitur untuk mengirimkan notifikasi ke Twitter pada saat diatur untuk variabel ketidakseimbangan melebihi 25% maka akan mengirimkan notifikasi seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Notifikasi Twitter

Hubungan Arus Netral dan Ketidakseimbangan Beban

Hubungan antara persentase ketidakseimbangan beban dengan arus netral berbanding lurus. Dimana semakin beban persentase ketidakseimbangan beban maka arus netral akan semakin besar. Dapat dilihat pada grafik Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan Ketidakseimbangan Beban dengan Arus Netral

Perbandingan Data Arus Netral Pengukuran dan Perhitungan

Hasil pengukuran arus netral yang terbaca oleh sensor PZEM-004T akan dibandingkan dengan hasil perhitungan yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$I_N = I_R(cosx° + jsinx°) + I_S(cosy° + jsiny°) + I_T(cosz° + jsinz°)$$

Sehingga dapat mengetahui seberapa akurat sensor dalam membaca arus netral serta membuktikan bahwa sistem yang dibuat dapat memunculkan arus netral. Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 2.

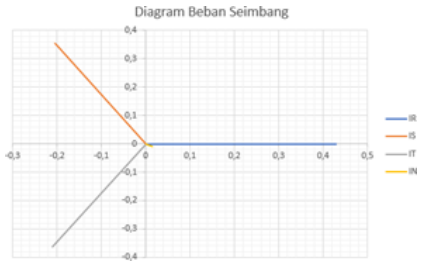
Tabel 2. Perbandingan Arus Netral Pengukuran dan Perhitungan

Percobaan	Fasa	Beban (W)	Arus (A)	Arus Netral Pengukuran (A)	Arus Netral Perhitungan (A)	Selisih
1.	R	100	0,44	0,44 A	0,44 A	0 A
	S	0	0			
	T	0	0			
2.	R	100	0,44	0,43 A	0,43 A	0 A
	S	100	0,40			
	T	0	0			
3.	R	100	0,44	0,08 A	0,03 A	0,05 A
	S	100	0,40			
	T	100	0,41			
4.	R	200	0,86	0,43 A	0,42 A	0,01 A
	S	200	0,78			
	T	100	0,41			
5.	R	200	0,86	0,15 A	0,07 A	0,08 A
	S	200	0,78			
	T	200	0,81			
6.	R	100	0,44	0,35 A	0,45 A	0,1 A
	S	225	0,84			
	T	225	0,93			
7.	R	100	0,43	0,05 A	0,02 A	0,03 A
	S	100	0,41			
	T	100	0,42			
8.	R	125	0,54	0,41 A	0,416 A	0,006 A
	S	125	0,51			
	T	100	0,11			
9.	R	125	0,51 (PF : 0,97)	0,49 A	0,50 A	0,01 A
	S	125	0,51			
	T	100	0,11			

Selisih antara pembacaan arus netral oleh sensor PZEM-004T dengan hasil perhitungan oleh rumus menunjukkan nilai rata-rata selisih yaitu 0,033 A. Hal ini disebabkan karena kurangnya keakuratan sensor dalam membaca arus yang kecil.

Analisis

Dalam melakukan pengujian dengan berbagai macam kondisi terlihat bahwa arus netral muncul karena adanya pembebanan yang tidak merata antar setiap fasanya. Sebagai contoh pada percobaan ke-7, beban tersebut memenuhi syarat untuk dikatakan seimbang karena ketiga vektor arus relatif sama besar yang digambarkan dengan vektor seperti Gambar 12.



Gambar 12. Keadaan Beban Seimbang

Untuk contoh kondisi tidak seimbang dapat dilihat pada percobaan ke-6 dengan keadaan ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain seperti Gambar 13.



Gambar 13. Keadaan Beban Tidak Seimbang

Pada kasus lainnya, keadaan tidak seimbang juga dapat terjadi karena ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain yang disebabkan adanya perbedaan faktor daya. Seperti contoh percobaan ke-8 dan percobaan ke-9 yang memiliki pembebanan antar fasa relatif sama akan tetapi terdapat perbedaan faktor daya pada fasa R percobaan ke-9. Dapat dilihat pada Gambar 14 dan 15 yaitu perbedaan diagram vektor antara percobaan ke-8 yang memiliki faktor daya 1 dan percobaan ke-9 yang memiliki faktor daya 0,97 pada fasa R.



Gambar 14. Vektor Percobaan ke-8 Sudut Sama Besar 120°

Sedangkan untuk vektor percobaan ke-9 yaitu sebagai berikut:



Gambar 15. Vektor Percobaan ke-9 Sudut Tidak Sama Besar

KESIMPULAN

1. Seluruh komponen yang digunakan mendapatkan sumber tegangan senilai 5,18 VDC sehingga tidak mempengaruhi kinerja

dari masing- masing rangkaian dan dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

2. Nilai tegangan dan arus yang terbaca pada sensor PZEM-004T memiliki keakuratan tinggi dengan rata-rata %*error* yaitu 0,05% untuk pembacaan arus dan 0,02% untuk pembacaan tegangan. Hal ini masih menjadi batas wajar karena batas akurasi *error* pada sensor PZEM-004T yaitu 0,5%
3. Persentase kesalahan pada sensor PZEM-004T akan semakin besar jika nilai arus semakin kecil atau mendekati 0.
4. *Buzzer* dan *Thingspeak* dapat bekerja dengan baik dengan mengirimkan notifikasi ketika kondisi beban mengalami keadaan tidak seimbang (>25% SPLN 12:1978) dan mengirimkan pemberitahuan ke *Twitter*.
5. Seluruh data waktu, arus, tegangan, dan %ketidakseimbangan beban tercapat pada pencatatan data oleh *Thingspeak* untuk kepentingan analisis setiap 15 detik.
6. Syarat keadaan beban seimbang dan tidak seimbang dapat terpenuhi dalam simulasi menggunakan alat ini

UCAPAN TERIMA KASIH

Bagian ini menyatakan ucapan terima kasih kepada pihak yang berperan dalam pelaksanaan kegiatan penelitian, misalnya laboratorium tempat penelitian. Peran donor atau yang mendukung penelitian disebutkan perannya secara ringkas. Dosen yang menjadi penulis tidak perlu dicantumkan di sini.

DAFTAR PUSTAKA

1. H. L. Latupeirissa, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi," J. Simetrik, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2017, doi: 10.31959/js.v7i2.43.
2. PT PLN (Persero). 1978. SPLN No. 12; *Ketidakseimbangan Beban*. PT PLN (Persero). Jakarta.
3. PT PLN (Persero). 2004. Edaran Direksi No. 0017 .ElDlRl2014; *Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset*. PT PLN (Persero). Jakarta.
4. Arduino, "Arduino Mega 2560 v3," 2023.https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/ (accessed Mar. 06, 2023).
5. Abhista, Mochammad Ihza. 2020. "Rancang Bangun Alat Sistem Monitoring Ketidakseimbangan Arus Beban Pada Line Jurusan PHBTR Berbasis Iot". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Surabaya.
6. Ikanov, Muhammad Fajar. 2021. "Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Terhadap Pembebanan Lebih Pada Trafo Serta Kontrol Penyulang Beban Berbasis Internet of Things (IoT)". Universitas Diponegoro. Semarang.
7. Adam, Bima Bryan, Hilda, dan Hendro Priyatman. "Sistem Real- time Monitoring Transformator Distribusi Berbasis Internet of Things (IoT)". Jurnal Teknik Elektro FT Universitas Tanjung Pura. Vol. 1 No. 1. 2019.
8. Khomarudin, R., & Subekti, L. (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban dan Harmonisa Terhadap Arus Netral Pada Trafo Distribusi 8 Kapasitas 500 KVA di PPSDM Migas Cepu. Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan (JuLIET), 1(2).