

Rancang Bangun Alat Monitoring Ketidakseimbangan Beban pada Sistem Instalasi 3-Fasa Berbasis Mikrokontroler

Endah Putri Rahayu¹, Budi Setiadi², Sunarto³

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : endah.putri.tlis19@polban.ac.id

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : budi.setiadi@polban.ac.id

³Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : sun_dtl@yahoo.com

ABSTRAK

Ketika terjadi ketidakseimbangan beban pada sistem 3 fasa, maka sistem akan mengalami rugi-rugi daya dan mengakibatkan penurunan efisiensi energi listrik juga penurunan kualitas tegangan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang dapat memonitoring ketidakseimbangan beban pada sistem instalasi 3 fasa. Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah perancangan dan pembuatan alat monitoring ketidakseimbangan beban pada sistem instalasi listrik 3 fasa, yang dapat menampilkan informasi bagaimana keadaan beban yang terpasang. Alat ini menggunakan sensor tipe PZEM-004T yaitu sensor arus dan tegangan untuk memperoleh data. Mikrokontroler Atmega 328P pada platform arduino uno digunakan untuk memproses data yang kemudian akan ditampilkan pada layar LCD. Berdasarkan dari hasil percobaan yang dilakukan, sistem monitoring berhasil mendeteksi dan memberikan informasi mengenai parameter nilai arus dan tegangan yang terdeteksi di setiap fasa melalui tampilan LCD serta memberikan informasi bagaimana keadaan keseimbangan beban, dimana saat beban terindikasi tidak seimbang maka sistem akan menginformasikan melalui bunyi *buzzer* sebagai indikator alarm. Dari hasil uji unjuk kerja memiliki nilai rata-rata error arus pada fasa R sebesar 3,7%, fasa S sebesar 0,5% dan pada fasa T sebesar 2,4%. Sedangkan nilai rata-rata error tegangan pada fasa R sebesar 0,03%, fasa S sebesar 0,01% dan pada fasa T sebesar 0,02%.

Kata Kunci

Sistem 3 fasa, ketidakseimbangan beban, monitoring, mikrokontroler Atmega 328P

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun industri. Oleh karena itu stabilitas dalam penyaluran energi listrik harus selalu tetap terjaga. Pada sistem instalasi listrik 3 fasa, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang. Dengan demikian daya pembangkitan = daya pemakaian. Selain itu, tegangan yang dimiliki juga harus seimbang. Pada tegangan yang seimbang terdiri dari tegangan 1 fasa yang memiliki magnitudo dan frekuensi yang sama tetapi antara 1 fasa dengan yang lainnya memiliki beda fasa sebesar 120° [1].

Namun pada prakteknya, beban seimbang dari ketiga fasa tersebut hampir mustahil dicapai. Dalam proses penyaluran energi listrik seringkali terjadi pembagian beban yang tidak

merata pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini selalu terjadi karena adanya ketidaksamaan dalam pemakaian energi listrik. Bila terjadi ketidakseimbangan, sistem akan mengalami rugi-rugi daya yang lebih besar pada saluran instalasi dan beban yang tidak seimbang dapat mengakibatkan penurunan efisiensi energi listrik dan penurunan kualitas tegangan [2]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang dapat memonitoring ketidakseimbangan beban pada sistem instalasi 3 fasa.

Alat monitoring ketidakseimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa ini dapat menampilkan informasi bagaimana keadaan beban yang terpasang. Sehingga sistem yang dibuat dapat memudahkan pelaksanaan monitoring dengan adanya tampilan arus beban dan tegangan tiap fasa pada LCD. Dalam pembacaan monitoring penelitian sebelumnya hanya menampilkan parameter

arus beban tiap fasa. Kekurangan tersebut dikembangkan dengan penggunaan sensor PZEM-004T yaitu sensor arus dan tegangan sehingga sistem yang dibuat tidak hanya memonitoring arus pada tiap fasa tetapi juga dapat memonitoring kestabilan tegangan pada tiap fasa. Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu metode eksperimen dengan melakukan pengujian pada beberapa keadaan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

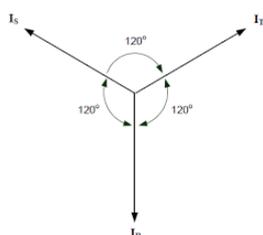
2.1 Sistem Instalasi Listrik 3 fasa

Pada sistem tenaga listrik tiga fasa, idealnya daya listrik yang dibangkitkan, disalurkan dan diserap oleh beban semuanya seimbang, $P_{pembangkitan} = P_{pemakaian}$, dan juga pada tegangan yang seimbang. Tegangan seimbang terdiri dari tegangan satu fasa yang besar dan frekuensinya sama, tetapi dengan beda fasa listrik sebesar 120° antara satu fasa dengan fasa lainnya [3].

2.2 Keseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

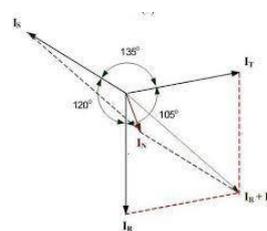


Gambar 1. Vektor Keseimbangan Beban Listrik

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:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.

- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2. Vektor Ketidakseimbangan Beban Listrik

Gambar 1 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 2 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya [4-6].

2.3 Akibat Ketidakseimbangan Beban

Sebagai akibat dari pembebanan yang tidak seimbang maka akan menimbulkan rugi-rugi (*losses*) energi diantaranya:

- **Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Netral**

Rugi ini terjadi karena ada arus yang lumayan cukup besar mengalir penghantar netral sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T). Arus yang mengalir pada penghantar netral ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (1)$$

Keterangan:

P_N = *losses* pada penghantar netral (watt)

I_N = arus yang mengalir pada netral (ampere)

R_N = tahanan penghantar netral (ohm)

- **Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Grounding**

Ketidakseimbangan beban juga mengakibatkan adanya arus yang mengalir pada penghantar *grounding* (pentanahan),

Besarnya daya yang hilang akibat arus *grounding* ini adalah sebagai berikut:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (2)$$

Keterangan:

P_G = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (ampere)

R_G = tahanan pembumian netral (ohm) [7].

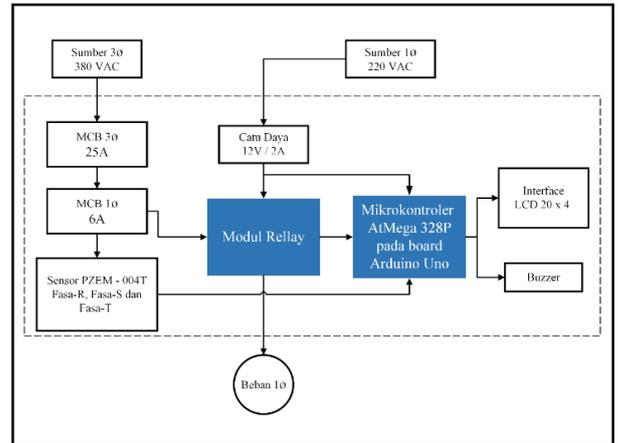
Maka dari itu solusi untuk memperbaiki presentase ketidakseimbangan beban yaitu dengan memperbaiki titik-titik kelompok beban di setiap fasa dengan memindahkan saluran beban yang terhubung ke fasa yang memiliki arus beban terbesar menuju fasa dengan arus terkecil.

3. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Perancangan Sistem Monitoring

Sistem monitoring dalam tugas akhir ini dibuat untuk memantau kondisi ketidakseimbangan beban pada instalasi listrik 3 fasa. Monitoring utama dalam tugas akhir menggunakan teknologi mikrokontroler Atmega 328P pada board Arduino Uno yang dilengkapi dengan media monitoring secara langsung pada *box* panel menggunakan LCD.

Tampilan pada media monitoring dalam tugas akhir ini menampilkan parameter listrik per fasa dimulai dari fasa R-N, fasa S-N dan fasa T-N dengan masing-masing fasa akan menampilkan parameter tegangan (V) dan Arus (I), kemudian ditampilkan juga status keseimbangan bebannya. Dalam sistem monitoring juga terdapat *buzzer* yang akan aktif sebagai indikator peringatan apabila terindikasi terjadinya ketidakseimbangan beban.



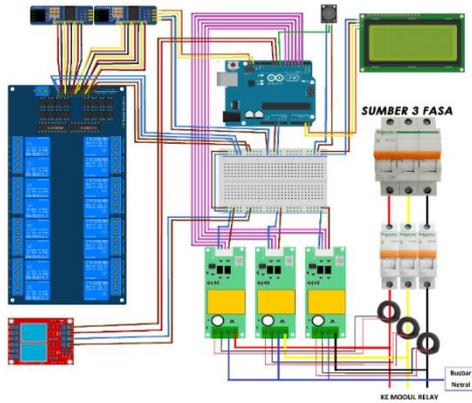
Gambar 3. Blok Diagram Sistem

Adapun deskripsi blok diagram sistem pada Gambar 3 sebagai berikut:

- 1 Mikrokontroler Atmega 328P pada board Arduino Uno, Kontroler berfungsi sebagai pengontrol kerja dari keseluruhan sistem, untuk proses pendeteksi dan penginformasi kondisi beban pada sistem instalasi 3 fasa.
- 2 Sensor Arus dan Tegangan (Sensor PZEM-004T), berfungsi untuk mendeteksi perubahan arus dan tegangan dari masing-masing fasa dari ketiga fasa R, S dan fasa T, dimana data dari ketiga sensor arus tersebut diinputkan ke kontroler untuk diolah datanya
- 3 Modul Relay, berfungsi sebagai pemutus dan penyambung supply kelistrikan ke beban.
- 4 LCD 20x4, berfungsi sebagai media penginformasi kondisi beban pada sistem instalasi 3 fasa.
- 5 Buzzer, berfungsi sebagai media penginformasi berupa suara, saat terindikasi terjadi ketidakseimbangan beban antar fasa.

3.2 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

3.2.1 Wiring Sistem Monitoring

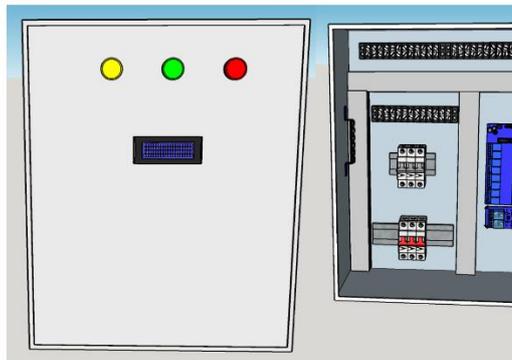


Gambar 4. Wiring Sistem Monitoring

Pada gambar 4. Sensor Arus dan Tegangan terhubung langsung dengan sumber listrik sehingga dapat mengukur jumlah arus dan tegangan pada beban listrik yang digunakan pada masing-masing fasa. Mikrokontroler Atmega328P pada board Arduino Uno digunakan untuk mengaktifkan relay yang menuju ke beban untuk proses monitoring. Relay yang semula pada kondisi normaly Open (NO), akan berubah menjadi close sehingga beban akan menyala. Data yang diperoleh dari sensor kemudian akan ditampilkan pada layar LCD (*Liquid Crystal Display*) dan akan mengaktifkan *buzzer* sebagai indikator bila terjadi ketidakseimbangan beban.

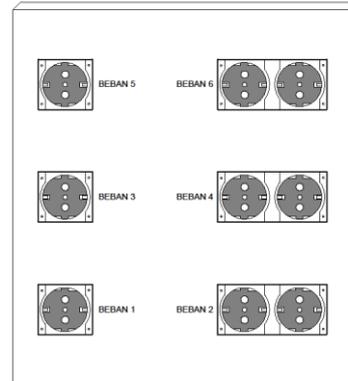
3. 2. 2 Perancangan Konstruksi Alat

Perancangan konstruksi alat memiliki tujuan untuk mengetahui letak penempatan komponen yang akan di pasang pada panel dan juga papan beban. Suatu perancangan tata letak diharapkan mampu membantu dalam proses pemasangan dan wiring komponen dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Dimensi ukuran dari panel yang digunakan yaitu 60 cm x 40 cm x 20 cm.



Gambar 4. Konstruksi panel

3. 2. 3 Perancangan Desain Pembebanan



Gambar 5. Tata Letak Pembebanan

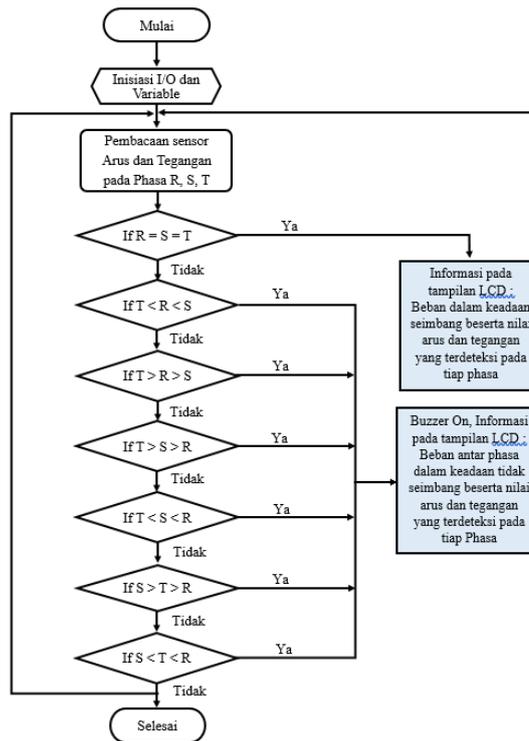
3. 3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Pemrograman Mikrokontroler atmega 328P pada board Arduino Uno dilakukan dengan menggunakan software Arduino IDE. Untuk menjalankan fungsi-fungsi pada rancangan alat ini terdapat beberapa program yang perlu dibuat yaitu:

1. Pemrograman pembacaan sensor PZEM-004T pada Arduino Uno.
2. Pemrograman untuk menampilkan hasil bacaan sensor PZEM-004T dari Arduino Uno ke LCD.
3. Pemrograman *buzzer* untuk tanda peringatan.

Tabel 1. Input dan Output Mikrokontroler

| No | Modul | Pin I/O Arduino |
|----|-----------------------|------------------------------------|
| 1 | LCD 20x40 | VCC, GND, Pin A4 dan PinA5 |
| 2 | Sensor PZEM-004T (1) | VCC, GND, Pin 2 dan Pin 3 |
| 3 | Sensor PZEM-004T (2) | VCC, GND, Pin 4 dan Pin 5 |
| 4 | Sensor PZEM-004T (3) | VCC, GND, Pin 6 dan Pin 7 |
| 5 | Buzzer | VCC, GND, Pin 8 |
| 6 | Modul Rellay 2 Chanel | VCC, GND, Pin 9 dan Pin 10 |
| 7 | PCF 8574 | VCC, GND, SCA dan SDL pada digital |



Gambar 6. Diagram Alir Sistem Monitoring

Adapun deskripsi algoritma sistem pada Gambar 6 sebagai berikut:

1. Inisialisasi I/O dan variabel merupakan bagian program untuk mendeklarasikan variabel-variabel input/output dan variabel-variabel yang nantinya akan dipergunakan dalam program, baik sebagai penyimpan data ataupun untuk keperluan pengolahan data.
2. Membaca data sensor arus dan tegangan untuk fasa R, S dan fasa T
3. Langkah selanjutnya adalah membandingkan besarnya arus untuk fasa R, fasa S dan fasa T. jika besarnya arus pada fasa R sama dengan besarnya arus pada fasa S dan fasa T, maka sistem akan menginformasikan melalui tampilan lcd bahwa beban dalam keadaan seimbang dan besarnya arus dan tegangan yang terdeteksi pada masing-masing fasa.
4. Jika besarnya arus pada fasa R, fasa S dan fasa T tidak sama besar, maka sistem akan menginformasikan melalui tampilan lcd bahwa beban dalam keadaan tidak seimbang dan

besarnya arus dan tegangan yang terdeteksi pada masing-masing fasa, serta sistem akan mengaktifkan *buzzer* sebagai alarm.

3. 4 Realisasi Alat

Realisasi alat merupakan tahapan perancangan konstruksi alat yang sudah direalisasikan menjadi alat monitoring ketidakseimbangan beban.



Gambar 7. Panel Monitoring



Gambar 8. Papan Pembebanan

4. PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat telah bekerja sesuai dengan hasil rancangan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan simulasi beberapa contoh beban listrik rumah tangga 1 fasa yang ada pada tabel 2.

Tabel 2. Beban Listrik Rumah Tangga

| No | Beban Listrik | Daya |
|----|---------------|-----------|
| 1 | Lampu LED | 10 Watt |
| 2 | Setrika | 350 Watt |
| 3 | Hairdryer | 1000 watt |

Setiap fasa dihubungkan dengan beban listrik rumah tangga pada tabel 2, yang mana dalam

pengujian ini dibuat beberapa kondisi pengujian seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Pembagian beban pada tiap kondisi

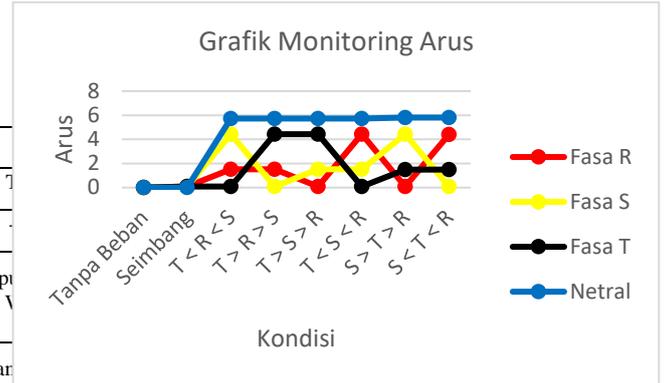
| Kondisi | Beban Listrik | | |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | R | S | T |
| Tanpa Beban | - | - | - |
| Seimbang | Lampu LED 10 Watt | Lampu LED 10 Watt | Lampu LED 10 Watt |
| fasa T < fasa R < fasa S | Setrika dan Lampu | Hairdryer dan Lampu | Lampu |
| fasa T > fasa R > fasa S | Setrika dan Lampu | Lampu | Hairdryer dan Lampu |
| fasa T > fasa S > fasa R | Lampu | Setrika dan Lampu | Hairdryer dan Lampu |
| fasa T < fasa S < fasa R | Hairdryer dan Lampu | Setrika dan Lampu | Lampu |
| fasa S > fasa T > fasa R | Lampu | Hairdryer dan Lampu | Setrika dan Lampu |
| fasa S < fasa T < fasa R | Hairdryer dan Lampu | Lampu | Setrika dan Lampu |

4.1 Hasil Pengujian Sistem Monitoring

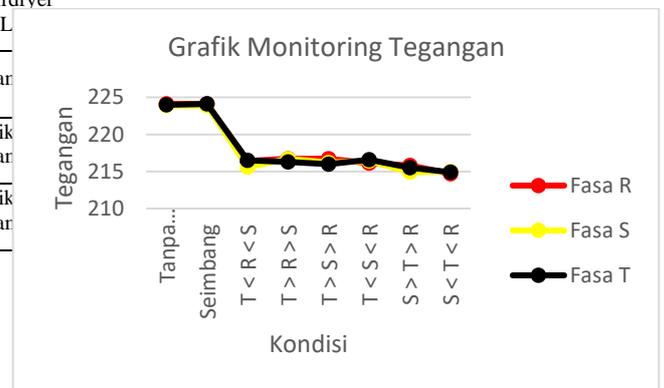
Hasil dari pengujian sistem secara keseluruhan dengan menggunakan beberapa kondisi keadaan bisa dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian sistem secara keseluruhan

| Kondisi | Arus (A) | | | | Tegangan (V) | | |
|-------------|----------|------|------|------|--------------|--------|--------|
| | R | S | T | N | R | S | T |
| Tanpa Beban | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 224,10 | 223,90 | 224,00 |
| Seimbang | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 224,10 | 223,90 | 224,10 |
| T < R < S | 1,52 | 4,43 | 0,09 | 5,73 | 216,40 | 215,60 | 216,50 |
| T > R > S | 1,52 | 0,10 | 4,43 | 5,74 | 216,70 | 216,70 | 216,30 |
| T > S > R | 0,09 | 1,52 | 4,43 | 5,73 | 216,70 | 216,20 | 216,00 |
| T < S < R | 4,44 | 1,52 | 0,09 | 5,73 | 216,10 | 216,40 | 216,60 |
| S > T > R | 0,09 | 4,42 | 1,50 | 5,80 | 215,80 | 214,90 | 215,50 |
| S < T < R | 4,41 | 0,10 | 1,49 | 5,81 | 214,70 | 215,00 | 214,90 |



Gambar 10. Grafik Monitoring Arus



Gambar 11. Grafik Monitoring Tegangan

Dari hasil pengujian memperlihatkan bahwa dalam keadaan seimbang tidak ada arus yang mengalir pada penghantar netral karena penjumlahan vektor dari ketiga fasa adalah sama dengan nol. Sedangkan saat terindikasi bahwa beban yang terpasang pada sistem instalasi 3-fasa dalam keadaan tidak seimbang, maka terlihat bahwa adanya arus yang mengalir terhadap penghantar netral dan juga adanya penurunan tegangan karena penjumlahan vektor dari ketiga fasa tidak sama dengan nol.

4.2 Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Untuk menguji kebenaran nilai arus dan tegangan pada alat yang dibuat maka dilakukan perbandingan antara alat yang telah dibuat dengan alat ukur yang digunakan.

Hasil dari perhitungan persentase error keseluruhan dengan menggunakan beberapa kondisi keadaan bisa dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Persentase Error

| Kondisi | Persentase Error (%) | | | | | |
|-----------|----------------------|-----|-----|----------|------|------|
| | Arus | | | Tegangan | | |
| | R | S | T | R | S | T |
| Seimbang | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,04 | 0,0 | 0,04 |
| T < R < S | 1,3 | 1,5 | 1,9 | 0,0 | 0,04 | 0,04 |
| T > R > S | 1,3 | 0,0 | 1,5 | 0,04 | 0,0 | 0,04 |
| T > S > R | 10 | 1,3 | 1,5 | 0,04 | 0,0 | 0,04 |
| T < S < R | 1,3 | 1,3 | 10 | 0,09 | 0,0 | 0,04 |
| S > T > R | 10 | 0,0 | 1,5 | 0,0 | 0,04 | 0,0 |
| S < T < R | 2 | 0,0 | 0,6 | 0,04 | 0,0 | 0,0 |
| Rata-rata | 3,7 | 0,5 | 2,4 | 0,03 | 0,01 | 0,02 |

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Fidargo, Tino, "Analisa Gangguan Ketidakseimbangan Beban Listrik Di Gedung Fakultas Teknologi Industri (Fti) Unissula", Universitas Islam Sultan Agung, 2018.
- [2] Camelia, Syukri, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Kawat Netral Pada Transformator Di Fakultas Teknik Universitas Andalas", Universitas Andalas, 2021.
- [3] Syaroni, Zainal, and Tri Rijanto. "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah." *Jurnal Teknik Elektro* 8.1. 2019.
- [4] Listiani, Suci, Suwarno Suwarno, and M. Imbarothur Mowaviq. "Penurunan Rugi-Rugi Daya dengan Pemerataan Beban Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu A 148 P PLN UP3 Bandengan". *INSTITUT TEKNOLOGI PLN*, 2020.
- [5] Zebua, O., Komalasari, E., Alam, S., & Aldiansyah, A. "Rancang Bangun Alat Monitoring Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Berbasis Internet of Things." *Electrician* 15.2: 146-152. 2021.
- [6] Dzakwan, Naufal Hilmi. "Rancang Bangun Penyeimbang Beban Pada Saluran Distribusi Sekunder Dengan Monitoring Losses Daya Akibat Arus Netral Berbasis IoT". *Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, 2020.
- [7] Doringin, Fanny J., Stephy B. Walukow, and Marson J. Budiman. "Sistem Monitoring Keseimbangan Beban 3-Fasa Berbasis Arduino Uno." *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. Vol. 10. No. 1. 2019.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Peralatan monitoring ketidakseimbangan beban yang dibuat dapat mendeteksi dan menginformasikan besarnya arus beban dan tegangan yang terpasang pada masing-masing fasa, juga dapat menginformasikan keadaan ketidakseimbangan beban pada instalasi 3 fasa. Serta secara otomatis sistem akan mengaktifkan *buzzer* sebagai indikasi terjadinya ketidakseimbangan beban.
2. Dari hasil uji unjuk kerja perbandingan hasil pembacaan nilai arus pada media monitoring dengan hasil pembacaan alat ukur memiliki nilai rata-rata error pada fasa R sebesar 3,7%, fasa S sebesar 0,5% dan pada fasa T sebesar 2,4%. Sedangkan perbandingan hasil pembacaan nilai tegangan pada media monitoring dengan hasil pembacaan alat ukur memiliki nilai rata-rata error pada fasa R sebesar 0,03%, fasa S sebesar 0,01% dan pada fasa T sebesar 0,02%.