

Monitoring Stabilitas Tegangan Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Osea Zebua¹, Noer Soedjarwanto²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Lampung
Bandar Lampung
¹osea.zebua@eng.unila.ac.id

Jemi Anggara³

P.T. Tanggamus Electric Power
Kabupaten Tanggamus
jemianggara.email@gmail.com

Abstrak—Banyak kerusakan yang terjadi pada peralatan-peralatan listrik di jaringan distribusi tegangan rendah disebabkan oleh ketidakstabilan tegangan. Oleh sebab itu monitoring stabilitas tegangan mutlak diperlukan untuk mengantisipasi hal ini. Makalah ini menyajikan sistem monitoring stabilitas tegangan pada jaringan distribusi tegangan rendah. Peralatan monitoring dibuat menggunakan mikrokontroler Arduino sebagai pemrosesan data pengukuran dari sensor tegangan dan menampilkan data hasil monitoring stabilitas tegangan ke layar LCD dan indikator lampu led. Hasil pengujian selama 25 menit pada panel listrik tiga fasa menunjukkan bahwa alat monitoring mampu memonitoring kondisi stabilitas tegangan pada setiap fasa secara *online* dan dinamis. Hasil monitoring menunjukkan bahwa fasa R mengalami gangguan stabilitas tegangan berupa tegangan kurang dengan durasi yang lama sehingga mengalami gangguan stabilitas tegangan yang lebih lama dibandingkan dengan fasa S dan fasa T.

Kata kunci—*monitoring; stabilitas tegangan; jaringan distribusi tegangan rendah.*

I. PENDAHULUAN

Berbagai jenis operasi dan gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi tegangan rendah dapat menyebabkan nilai tegangan menjadi berubah setiap saat. Bahkan nilainya dapat berada di luar batas-batas operasi yang telah ditentukan atau menuju kondisi ketidakstabilan tegangan. Jarak yang jauh antara pengguna listrik dengan transformator distribusi semakin meningkatkan resiko terjadinya kondisi ketidakstabilan tegangan akibat drop tegangan.

Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan permasalahan pada peralatan-peralatan listrik yang terhubung pada jaringan distribusi tegangan rendah. Peralatan-peralatan listrik tersebut umumnya menggunakan suplai daya satu fasa dan tiga fasa. Efek dari tegangan yang tidak stabil pada peralatan-peralatan listrik antara lain, menyebabkan berkurangnya kinerja peralatan, mengurangi efisiensi peralatan pemanas, mengurangi umur pelayanan peralatan, mengurangi akurasi peralatan instrumentasi, menghasilkan kecepatan yang tidak konsisten pada peralatan yang menggunakan motor listrik dan bila terjadi berulang kali atau terjadi dalam waktu yang lama secara kontinyu maka dapat merusak peralatan.

Rentang tegangan operasi untuk setiap peralatan listrik berbeda-beda dan umumnya dapat bekerja pada batas tegangannya selama satu siklus sampai 1000 siklus dengan frekuensi 50 hertz, atau dalam waktu antara 0,02 detik sampai 20 detik [1]. Peralatan pengukur tegangan komersial biasanya hanya mengukur nilai tegangan rms selama 0,25 detik sampai 1 detik, sehingga nilai tegangan rms dalam siklus yang lebih pendek tidak ditampilkan.

Makalah ini menyajikan monitoring stabilitas tegangan pada jaringan distribusi tegangan rendah tiga fasa secara *online* dan dinamis. Peralatan untuk monitoring dibuat dengan menggunakan mikrokontroler Arduino untuk memproses perhitungan kondisi stabilitas tegangan. Data tegangan diukur dengan menggunakan sensor tegangan ZMPT101B dan hasil monitoring stabilitas tegangan ditampilkan pada layar LCD dan diindikasikan dengan menggunakan indikator lampu led.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas tegangan didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan nilai tegangan pada batas-batas operasi yang diijinkan baik sebelum maupun sesudah terjadinya gangguan [2].

Tabel 1. Kategori dan Karakteristik Fenomena Gangguan Tegangan Pada Sistem Tenaga Listrik [3]

| | Kategori | Durasi | Magnitudo Tegangan |
|---|---|--------------------|--------------------|
| Variasi Tegangan rms Jangka Pendek (Sesaat) | Tegangan Turun (<i>Sag</i>) | 0,5 siklus-3 detik | 0,1-0,9 pu |
| | Tegangan Naik (<i>Swell</i>) | 0,5 siklus-3 detik | 1,1-1,4 pu |
| | Interupsi Tegangan | 0,5 siklus-3 detik | < 0,1 pu |
| Variasi Tegangan Jangka Pendek (Temporer) | Tegangan Turun (<i>Sag</i>) | >3 detik – 1 menit | 0,1-0,9 pu |
| | Tegangan Naik (<i>Swell</i>) | >3 detik – 1 menit | 1,1-1,2 pu |
| | Interupsi Tegangan | >3 detik – 1 menit | < 0,1 pu |
| Variasi Tegangan rms Jangka Panjang | Interupsi Tegangan Yang Bertahan | >1 menit | 0 pu |
| | Tegangan Kurang (<i>Undervoltage</i>) | >1 menit | 0.8-0.9 pu |
| | Tegangan Lebih | >1 menit | 1,1-1,4 pu |

Stabilitas tegangan diklasifikasikan berdasarkan kerangka waktu terjadinya yakni stabilitas tegangan jangka pendek dan stabilitas jangka panjang. Kondisi stabilitas tegangan jangka pendek dan jangka panjang secara umum dijelaskan pada tabel 1.

Analisis stabilitas tegangan pada tabel 1 dilakukan dengan menggunakan nilai tegangan rms. Bila variasi tegangan berada di antara magnitudo tegangan 0,9 per unit sampai dengan 1,1 per unit maka dikategorikan sebagai kondisi tegangan yang stabil.

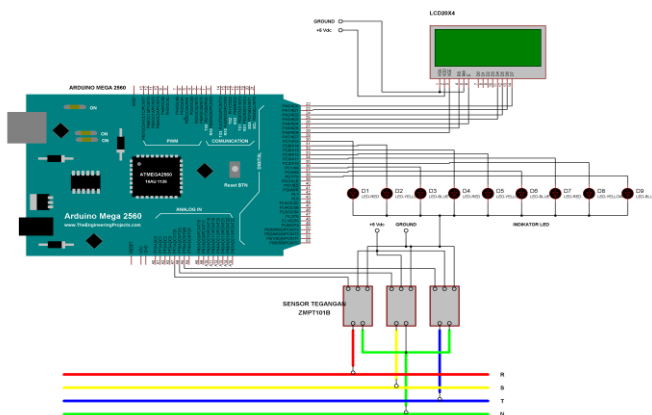
Banyak peralatan listrik konsumen di jaringan tegangan rendah dapat bekerja dengan baik dengan nilai tegangan yang kurang dari magnitudo tegangan yang ditunjukkan pada tabel 1, bahkan dengan durasi yang lebih lama. Selain itu, peralatan-peralatan proteksi dan kontrol dapat bekerja pada rentang tegangan yang lebih besar. Namun, secara umum pada rentang waktu lebih dari 1000 siklus atau 20 detik batas-batas tegangan kerja bagi berbagai peralatan listrik tersebut adalah sekitar 0,9 per unit sampai 1,1 per unit dari tegangan kerja nominalnya [4]-[5].

III. METODE

A. Perancangan dan Pembuatan Alat Monitoring

Alat monitoring stabilitas tegangan dirancang untuk mengukur tegangan rms dengan waktu pengukuran selama 10 siklus pada frekuensi 50 hertz atau 0,2 detik. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sensor tegangan ZMPT101B Mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan untuk mengambil data tegangan rms setiap fasa beserta waktu pengukurannya. Data tegangan rms dan waktu pengukurannya diproses untuk menentukan kondisi stabilitas tegangan dengan kategori gangguan stabilitas tegangan yang ditunjukkan pada tabel 1. Hasil monitoring dan deteksi gangguan stabilitas tegangan setiap fasa ditampilkan pada layar LCD dan diindikasikan dengan menggunakan indikator lampu led.

Skema rangkaian perancangan alat monitoring stabilitas tegangan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema Perancangan Alat Monitoring

Jumlah indikator lampu led yang digunakan adalah 9 buah. Masing-masing 3 buah lampu led dengan warna yang berbeda untuk menyatakan kondisi gangguan stabilitas tegangan pada setiap fasa. Lampu led berwarna merah menyatakan kondisi gangguan tegangan kurang atau tegangan naik yang merupakan gangguan stabilitas jangka panjang. Lampu led berwarna kuning menyatakan tegangan turun (*sag*) atau tegangan naik (*swell*) pada kategori gangguan stabilitas tegangan jangka pendek temporer. Lampu led berwarna biru menyatakan tegangan naik atau tegangan turun untuk gangguan stabilitas jangka pendek sesaat. Bila semua lampu led tidak menyala menyatakan bahwa tegangan stabil di setiap fasa.

B. Pemrograman

Pengukuran dan waktu pengambilan data tegangan rms dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Energy Monitor (Emonlib) [6]. Tegangan rms yang diukur menggunakan rumus:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^N V_p^2}{N}} \tag{1}$$

dimana V_p adalah tegangan puncak sesaat dan N adalah jumlah sampel dalam satu siklus. Lama siklus pengambilan data ditentukan sebesar 10 siklus atau berkisar 0,1 detik dan jumlah sampel yang digunakan adalah 53 per siklus.

Program komputer untuk perhitungan kondisi stabilitas tegangan jangka panjang ditentukan sesuai dengan tabel 1, dimana batas-batas tegangan operasi adalah 0,9 per unit sampai 1,1 per unit. Jika tegangan yang diukur berada di luar batas-batas tegangan operasi dengan durasi antara 0,01 detik sampai 3 detik, maka merupakan gangguan stabilitas tegangan jangka pendek sesaat dengan kategori tegangan naik atau tegangan turun. Bila berlangsung antara 3 detik sampai 1 menit maka merupakan gangguan stabilitas tegangan pendek temporer dengan kategori tegangan naik atau tegangan turun. Bila berlangsung lebih dari 1 menit maka merupakan gangguan stabilitas jangka panjang.

Program komputer lainnya adalah program komputer untuk mengaktifkan lampu led sesuai dengan kondisi stabilitas tegangan hasil perhitungan dan mengirim data hasil pengukuran tegangan dan kondisi stabilitas tegangan ke LCD. Semua program ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman C dan di-upload ke mikrokontroler dengan menggunakan perangkat lunak Arduino IDE 1.85 [7].

C. Pengujian

Pengujian dilakukan pada panel listrik tiga fasa dan dilakukan selama rentang waktu 25 menit. Laptop dihubungkan ke alat monitoring sebagai sumber daya listrik dan untuk kebutuhan menyalin data tegangan rms setiap fasa beserta waktu pengambilannya melalui layar Serial Monitor perangkat lunak Arduino IDE. Data yang diperoleh dari layar Serial

Monitor kemudian diplot dengan menggunakan perangkat lunak Matlab.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan

Alat monitoring stabilitas tegangan hasil perancangan dalam bentuk fisik ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Alat Monitoring Stabilitas Tegangan

Indikator lampu led berjumlah 9 buah, masing-masing 3 lampu dengan warna yang berbeda untuk setiap fasa. Baris teratas untuk menyatakan kondisi stabilitas tegangan untuk fasa R, baris kedua menyatakan kondisi stabilitas tegangan untuk fasa S dan baris ketiga untuk menyatakan kondisi stabilitas tegangan untuk fasa T.

Layar LCD menampilkan data tegangan rms hasil pengukuran dan kondisi stabilitas tegangan setiap fasa serta waktu pengambilan data.

B. Hasil Pengujian

Pengujian alat monitoring stabilitas tegangan dilakukan pada titik pengukuran panel listrik tiga fasa dan dilakukan selama 25 menit. Selama pengujian laptop dihubungkan ke alat monitoring untuk melihat tampilan dinamis dari data tegangan rms dan waktu pengambilan data melalui layar Serial Monitor perangkat lunak Arduino IDE 1.85. Data yang ditampilkan selama periode pengujian disalin dan disimpan ke dalam file untuk diplot dan dianalisis secara *off-line* dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. *Setup* rangkaian pengujian ditunjukkan pada gambar 3.

Nilai tegangan nominal referensi yang digunakan pada pengujian monitoring stabilitas tegangan ini adalah 230V. Nilai batas bawah dari tegangan operasi adalah sebesar 0,9 per unit dari tegangan nominal referensi, yakni 207V dan nilai batas atas dari tegangan operasi adalah sebesar 1,1 per unit dari nilai tegangan nominal referensi, yakni 242V. Nilai tegangan rms yang diukur adalah nilai tegangan rms selama 5 siklus atau nilai tegangan rms setiap 0,1 detik.

Selama pengujian alat monitoring mampu memonitor kondisi stabilitas tegangan pada setiap fasa secara dinamis dengan tampilan kategori stabilitas tegangan pada layar LCD dan gangguan stabilitas tegangan dengan menyalnya lamped.



Gambar 3. Setup Rangkaian Pengujian

Gambar 4 menunjukkan monitoring tegangan kurang pada fasa R yang ditandai dengan menyalnya lampu led berwarna merah pada baris teratas. Hal ini menyatakan bahwa nilai tegangan fasa R pada detik ke 700,67 atau pada menit ke 11,63 adalah lebih kecil dari 207V dan telah berlangsung lebih dari 1 menit.

Hasil monitoring tegangan turun temporer pada fasa S dan tegangan turun sesaat pada fasa T yang terjadi pada detik ke 964,62 ditunjukkan pada gambar 5. Lampu led berwarna kuning pada fasa S dan lampu led berwarna biru pada fasa T menyala bersamaan pada waktu tersebut.

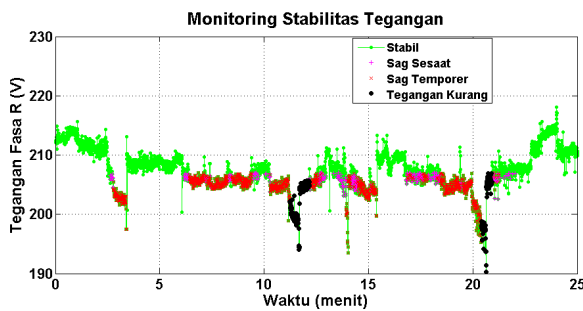


Gambar 4. Monitoring Tegangan Kurang Pada Fasa R

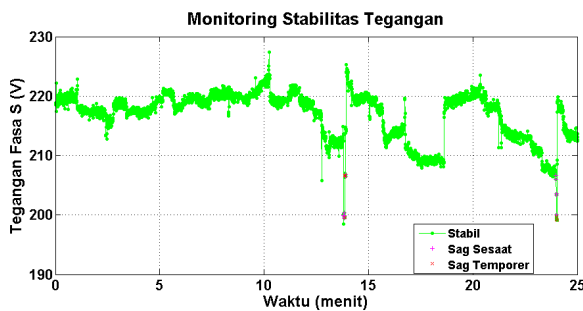


Gambar 5. Monitoring Tegangan Turun Temporer Pada Fasa S dan Tegangan Turun Sesaat Pada Fasa T.

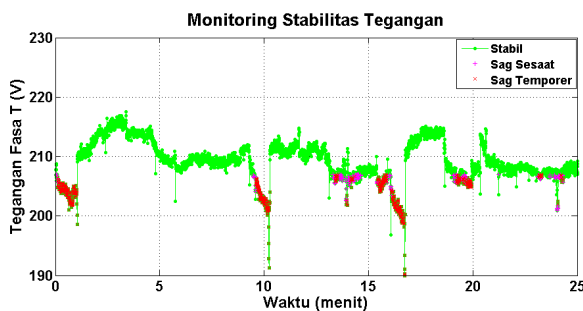
Analisis monitoring stabilitas tegangan secara *off-line* untuk setiap fasa menggunakan data tegangan hasil pengujian untuk fasa R, fasa S dan fasa T masing-masing ditunjukkan pada gambar 6, gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 6. Monitoring kondisi stabilitas tegangan pada fasa R



Gambar 7. Monitoring kondisi stabilitas tegangan pada fasa S



Gambar 8. Monitoring kondisi stabilitas tegangan pada fasa T

Dari perbandingan ketiga gambar menunjukkan bahwa pada fasa R dideteksi gangguan stabilitas tegangan berupa gangguan sag (tegangan turun) sesaat, sag (tegangan turun) temporer dan tegangan kurang yang durasinya lebih lama. Sementara pada fasa S dan fasa T hanya dideteksi gangguan stabilitas tegangan berupa sag sesaat dan sag temporer. Hal ini berarti nilai tegangan di bawah 207V pada fasa R terjadi lebih lama dibandingkan kedua fasa lainnya. Nilai tegangan kurang dari 207V relatif lebih pendek terjadi pada fasa S dibandingkan pada kedua fasa lainnya.

Waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan data tegangan rms, menampilkan hasil kondisi stabilitas tegangan pada layar LCD dan menyalakan lampu led rata-rata berkisar 0,11 detik dan hasil tampilan karakter pada layar LCD dapat dilihat secara utuh. Hal ini menunjukkan alat monitoring mampu bekerja secara dinamis dan cukup untuk memonitor kondisi stabilitas tegangan dengan kategori gangguan yang ditunjukkan pada tabel 1, dimana durasi waktu terpendek untuk analisis stabilitas tegangan adalah kurang dari 3 detik.

V. KESIMPULAN

Alat monitoring stabilitas tegangan mampu memonitoring kondisi stabilitas tegangan pada jaringan distribusi tiga fasa serta menampilkan kategori gangguan stabilitas tegangan pada layar LCD dan indikator lampu led secara *online* dan dinamis dengan interval waktu sebesar 0,11 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kemenristek Dikti atas dukungan pendanaan melalui skema Penelitian Strategis Nasional Industri dengan nomor kontrak 062/SP2H/LT/DRPM/2018.

REFERENSI

- [1] S. Elphick, V. Smith, V. Gosbell, G. Drury, and S. Perera, "Voltage Sag Susceptibility of 230V Equipment", IET Generation, Transmission, and Distribution, vol.7, no.6, pp.576-583, 2013.
- [2] P. Kundur, J. Paserba, V. Ajarapu, A. Bose, G. Andersson, C. Canizares, N. Hatziargyriou, D. Hill, A. Stankovic, T. Van Cutsem and V.Vittal, 2004, "Defenition and Classification of Power System Stability", IEEE Transaction on Power Systems, vol.19, no.4, May 2004.
- [3] IEEE Standard 1159-2009, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Power Quality", 2009.
- [4] Information Technology Industry Council, "ITI (CBEMA) Curve Application Note", available online from: <http://www.itic.org/resources/iti-cbema-curve/>, [Last Access 1 September 2018].
- [5] H. Markiewitz and A. Klajn, "Voltage Disturbances – Std. EN50160 – Voltage Characteristics in Public Distribution Systems", Leonardo Power Quality Initiative, July 2004.
- [6] Open Energy Monitor Library website. [Online]. Available: <https://github.com/openenergymonitor/EmonLib>.
- [7] A. Kadir, "Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino, Penerbit Andi Yogyakarta, 2013.