

# Monitoring Stabilitas Tegangan Jangka Pendek Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Osea Zebua<sup>\* a)</sup>, Noer Soedjarwanto<sup>a)</sup>,

**Abstrak:** Stabilitas tegangan menjadi perhatian penting dalam operasi sistem tenaga listrik termasuk di jaringan distribusi tegangan rendah. Berbagai operasi dan gangguan yang terjadi setiap saat dapat merubah nilai tegangan dan bahkan dapat mengganggu stabilitas tegangan. Tegangan yang tidak stabil dapat mengganggu kinerja peralatan dan dapat merusak peralatan bila terjadi terlalu lama. Monitoring dan deteksi gangguan stabilitas tegangan diperlukan untuk mengantisipasi efek dari tegangan yang tidak stabil. Makalah ini menyajikan sistem monitoring dan deteksi stabilitas jangka pendek secara dinamis menggunakan peralatan berbasis mikrokontroler. Sensor tegangan digunakan untuk mengukur dan memperoleh data tegangan dan waktu pengambilannya, mikrokontroler Arduino digunakan untuk memproses data dan mengirim data ke tampilan LCD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peralatan yang dibuat dapat bekerja secara dinamis dan dapat memonitoring kondisi stabilitas tegangan dalam jangka pendek dan mendeteksi gangguan stabilitas tegangan yang lebih besar dari 0,03 detik.

**Kata-kata kunci :** monitoring, stabilitas tegangan, jangka pendek, jaringan tegangan rendah.

## 1. Pendahuluan

Tegangan adalah salah satu parameter penting dalam operasi sistem tenaga listrik. Berbagai operasi dan gangguan yang terjadi setiap saat dapat menyebabkan nilai tegangan menjadi berubah (fluktuasi) dan bahkan berada di luar batas-batas operasi yang ditentukan atau menuju ke kondisi ketidakstabilan tegangan.

Tegangan yang tidak stabil dapat menyebabkan berbagai permasalahan dalam operasi sistem tenaga listrik, termasuk di jaringan distribusi tegangan rendah. Efek tegangan yang tidak stabil bagi peralatan-peralatan listrik antara lain, menyebabkan berkurangnya kinerja, mengurangi umur, mengurangi akurasi peralatan instrumentasi dan bahkan dapat merusak peralatan jika berlangsung dalam waktu yang lama.

Berbagai peralatan listrik konsumen yang terdapat pada jaringan distribusi tegangan rendah dirancang untuk rentang tegangan kerja yang berbeda-beda. Setiap peralatan mempunyai kemampuan untuk bekerja pada batas tegangan dalam waktu yang berbeda-beda, yang berkisar antara satu siklus sampai 1000 siklus dengan frekuensi 50Hz atau sekitar 0,02 detik sampai 20 detik [1].

Monitoring tegangan umumnya menggunakan alat ukur tegangan dengan waktu selama 1 detik dan tidak dapat monitoring stabilitas tegangan dengan jangka waktu yang kurang dari 1 detik. Oleh karena itu, efek tegangan tidak stabil dalam rentang kurang dari 1 detik, tidak dapat dimonitor. Selain itu, tidak semua peralatan listrik konsumen dilengkapi dengan alat proteksi dan kontrol sehingga rentan terhadap efek dari ketidakstabilan tegangan. Oleh karena itu, diperlukan peralatan yang dapat memonitoring dan mendeteksi kondisi stabilitas tegangan

dalam jangka pendek pada jaringan distribusi tegangan rendah untuk meminimalkan efek ketidakstabilan tegangan pada peralatan-peralatan listrik.

Makalah ini menyajikan monitoring stabilitas tegangan jangka pendek secara *online* dan dinamis dengan menggunakan peralatan monitoring berbasis mikrokontroler. Peralatan monitoring stabilitas tegangan juga dilengkapi deteksi ketidakstabilan tegangan dan dapat menampilkan kondisi stabilitas tegangan pada layar LCD.

## 2. Studi Pustaka

Stabilitas tegangan adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan nilai tegangan pada batas-batas operasi yang diijinkan sebelum dan setelah terjadinya gangguan [2]. Berdasarkan kerangka waktu, stabilitas tegangan diklasifikasikan dalam stabilitas tegangan jangka pendek dan jangka panjang. Analisis stabilitas tegangan biasanya menggunakan indikator magnitude tegangan rms (*root mean square*). Berbagai kondisi stabilitas tegangan jangka pendek dan jangka panjang secara umum diklasifikasikan menurut tabel 1.

Berbagai peralatan listrik konsumen pada jaringan tegangan rendah dapat bekerja dengan baik pada tegangan yang kurang dari magnitude tegangan yang ditunjukkan pada tabel 1 dalam waktu yang lebih pendek dari 1 detik. Selain itu berbagai peralatan proteksi dan kontrol seperti kontaktor dapat bekerja dengan rentang tegangan yang lebih besar. Namun secara umum, pada rentang waktu lebih dari 1000 siklus atau 20 detik, batas-batas tegangan kerja bagi peralatan-peralatan listrik konsumen adalah sebesar kurang lebih 10% dari tegangan kerja nominalnya. Batas-batas tegangan kerja dengan batas-batas waktu yang diijinkan ditunjukkan pada tabel 2.

Beberapa peralatan dapat bekerja kurang dari batas-batas tegangan yang disebut pada tabel 2 dengan

\* Korespondensi: osez89@gmail.com

a) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung,

durasi yang lebih lama.

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 ( <i>Overvoltage</i> )	>1 menit	1,1-1,4 pu

Tabel 2. Batas-batas Tegangan Dari Peralatan Listrik Konsumen dan Industri [4]

Jenis Peralatan Listrik	Durasi	Magnitudo Tegangan	Durasi	Magnitudo Tegangan
Peralatan Teknologi Informasi	1 siklus -0,5 detik	0,7 pu	>0,5 detik	1,1 pu
	0,5 - 10 detik	0,8 pu	<0,5 siklus	1,2 pu
	>10 detik	0,9 pu	- 0,5 detik	
Peralatan Elektronik (TV Plasma, TV LCD, Microwave)	1 siklus -0,5 detik	0,7 pu	>0,5 detik	1,1 pu
	0,5 - 10 detik	0,8 pu	<0,5 siklus	1,2 pu
	>10 detik	0,9 pu	- 0,5 detik	
Peralatan Pendingin	1 siklus -0,5 detik	0,7 pu	>0,5 detik	1,1 pu
	0,5 - 10 detik	0,8 pu	<0,5 siklus	1,2 pu
	>10 detik	0,9 pu	- 0,5 detik	
Peralatan Elektronik Lainnya	1 siklus -0,5 detik	0,7 pu	>0,5 detik	1,1 pu
	0,5 - 10 detik	0,8 pu	<0,5 siklus	1,2 pu
	>10 detik	0,9 pu	- 0,5 detik	
Kontaktor	1 siklus -0,5 detik	0,7 pu	>0,5 detik	1,1 pu
	0,5 - 10 detik	0,8 pu	<0,5 siklus	1,2 pu
	>10 detik	0,9 pu	- 0,5 detik	
Peralatan Industri Lainnya	1 siklus -0,5 detik	0,7 pu	>0,5 detik	1,1 pu
	0,5 - 10 detik	0,8 pu	<0,5 siklus	1,2 pu
	>10 detik	0,9 pu	- 0,5 detik	
Peralatan berbasis motor	1 siklus -0,5 detik	0,8 pu	>0,5 detik	1,1 pu
	>0,5 detik	0,9 pu	<0,5 siklus	1,2 pu

Selain itu, fluktuasi sebesar 3% dari tegangan nominal dapat menimbulkan flicker 10 Hz jika terjadi 1200 kali dalam waktu 1 menit dan dianggap sebagai gangguan stabilitas tegangan [5].

### 3. Metode

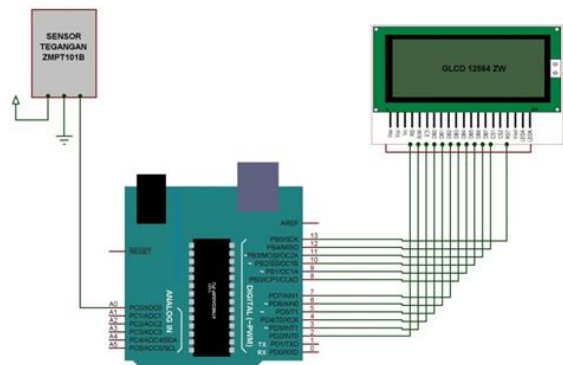
#### 3.1 Perhitungan Indikator Stabilitas Tegangan Jangka Pendek

Analisis stabilitas tegangan jangka pendek dengan indikator stabilitas tegangan yang digunakan adalah berdasarkan nilai magnitudo tegangan rms dan durasi pada tabel 1. Nilai-nilai magnitudo tegangan rms dan waktu yang digunakan cukup untuk monitoring stabilitas tegangan untuk semua peralatan yang terdapat pada jaringan tegangan rendah, seperti yang disebut pada tabel 2, karena semua nilainya berada pada batas aman peralatan. Kategori monitoring stabilitas tegangan jangka pendek yang digunakan untuk monitoring ini adalah berdasarkan standar yang ditunjukkan pada tabel 1, dengan waktu kurang dari 3 detik untuk variasi tegangan rms sesaat, 3 sampai 1 menit untuk variasi tegangan rms temporer dan fluktuasi sebesar 3% dari tegangan nominal sebanyak lebih dari 1200 kali dalam satu menit yang dinyatakan sebagai flicker 10 Hz. Variasi tegangan rms yang melebihi batas-batas tegangan dan terjadi lebih dari 1 menit dianggap sebagai kondisi peringatan (*alarm*).

#### 3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat

Alat monitoring stabilitas tegangan dirancang untuk dapat mengukur tegangan dengan waktu pengukuran dan pengambilan data tegangan dalam satu siklus frekuensi 50Hz. Pengukuran dan pengambilan data tegangan rms dilakukan dengan menggunakan sensor tegangan ZMPT101B. Data tegangan dan waktu pengambilannya diproses oleh mikrokontroler Arduino untuk menentukan kondisi stabilitas tegangan berdasarkan indikator stabilitas tegangan. Mikrokontroler mengirim data tegangan dan kondisi stabilitas tegangan ke layar tampilan Graphic LCD.

Skema rangkaian perancangan alat monitoring stabilitas tegangan ditunjukkan pada gambar 1. Sensor tegangan ZMPT101B yang dihubungkan ke jaringan distribusi tegangan rendah satu fasa dihubungkan ke pin analog mikrokontroler, yakni pin A0.



Gambar 1. Skema Rangkaian Alat

Mikrokontroler diprogram untuk mengambil data tegangan rms, dengan terlebih dahulu melakukan kalibrasi terhadap tegangan arus bolak-balik yang dihasilkan oleh sensor tegangan. Mikrokontroler kemudian memproses data tegangan rms urutan waktu yang diperoleh dan kemudian menampilkannya pada layar tampilan Graphic LCD. Graphic LCD dihubungkan ke pin-pin digital mikrokontroler, yakni pin 2 sampai pin 13.

### 3.3 Pemrograman

Program komputer untuk pengambilan data tegangan rms beserta waktu pengambilannya dibuat dengan menggunakan perangkat lunak EnergiMonitor (EMON). Program komputer lainnya adalah program komputer untuk mengaktifkan komponen-komponen yang menyusun alat monitoring, program komputer untuk memproses perhitungan indikator stabilitas tegangan dan program untuk menampilkan tegangan rms dan kondisi stabilitas tegangan ke layar tampilan GLCD. Semua program ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman C [6].

### 3.4. Pengujian

Pengujian alat monitoring stabilitas tegangan dilakukan pada sistem distribusi tegangan rendah satu fasa 230V di perumahan penduduk dan di laboratorium. Pengujian dilakukan selama sekitar 20 menit untuk melihat efektifitas alat monitoring stabilitas tegangan. Data hasil pengujian diperoleh dari Serial Monitor dari perangkat lunak Arduino IDE untuk analisis secara *off-line* dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Hasil Perancangan Alat

Bentuk fisik alat monitoring stabilitas tegangan ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Alat Monitoring Stabilitas Tegangan

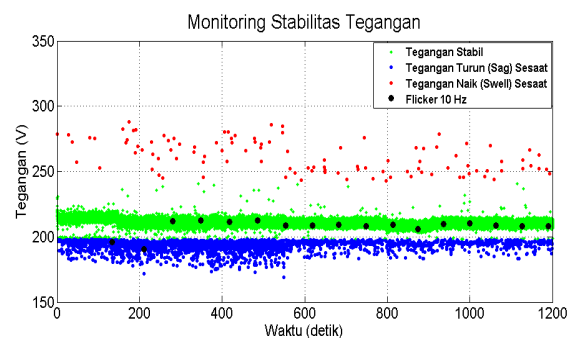
Alat monitoring stabilitas tegangan menampilkan kondisi monitoring stabilitas tegangan beserta tegangan rms secara dinamis pada tampilan layar Graphic LCD.

### 4.2. Hasil Pengujian

Pengujian alat monitoring stabilitas tegangan di perumahan penduduk ditunjukkan pada gambar 3. Data hasil pengujian berupa data tegangan rms dan waktu pengambilannya digambar dengan menggunakan MATLAB dan hasilnya ditunjukkan pada gambar 4. Tegangan nominal referensi untuk analisis stabilitas tegangan secara *off-line* adalah sebesar 220V.



Gambar 3. Pengujian di Perumahan Penduduk



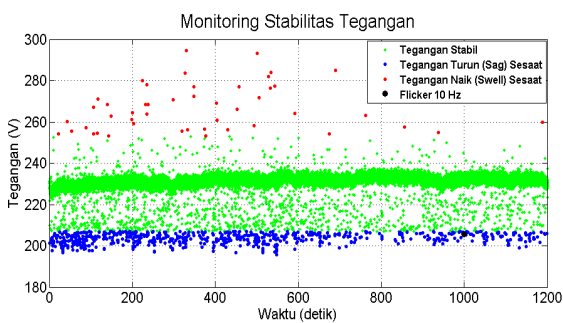
Gambar 4. Monitoring Kondisi Stabilitas Tegangan di Perumahan Penduduk

Jumlah data yang diperoleh selama pengujian adalah 27603 data tegangan rms dan waktu pengambilannya. Rentang tegangan antara setiap data berkisar antara 0,03-0,05 detik. Dari jumlah data tersebut, 3156 data menunjukkan gangguan tegangan turun sesaat. Tidak terdapat kondisi gangguan tegangan naik temporer dan tegangan turun temporer, yang artinya semua gangguan stabilitas tegangan terjadi kurang dari 3 detik. Selain itu, terjadi 17 kali *flicker* 10 Hz.



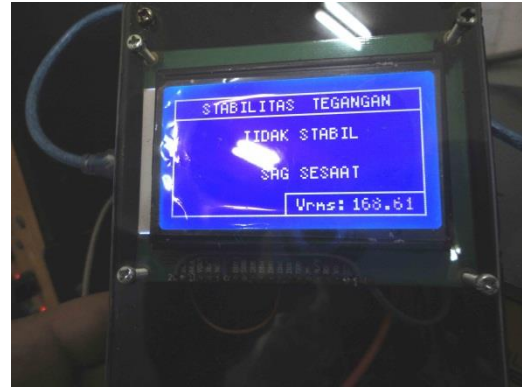
Gambar 5. Pengujian di Laboratorium

Pengujian alat monitoring yang dilakukan di laboratorium ditunjukkan pada gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat monitoring mampu mendeteksi bentuk gangguan stabilitas tegangan jangka pendek, yakni tegangan naik sesaat, tegangan turun sesaat serta *flicker* 10Hz, seperti ditunjukkan pada gambar 6. Tegangan nominal yang digunakan untuk analisis stabilitas tegangan adalah 230V.



Gambar 6. Monitoring Kondisi Stabilitas Tegangan di Laboratorium

Jumlah data tegangan rms dan waktu pengambilannya yang diperoleh sebesar 27392 data, dengan 642 data menunjukkan gangguan tegangan turun sesaat dan 48 data menunjukkan gangguan tegangan naik sesaat. Tidak terdapat gangguan stabilitas tegangan temporer dan semua gangguan stabilitas tegangan yang terjadi berlangsung kurang dari 3 detik. Hanya terdapat 1 kali *flicker* 10Hz. Salah satu kondisi stabilitas tegangan yang ditampilkan oleh alat monitoring stabilitas tegangan ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil Tampilan Kondisi Stabilitas Tegangan Jangka Pendek

Hasil pengujian alat monitoring stabilitas tegangan jangka pendek pada jaringan tegangan rendah di perumahan penduduk dan di laboratorium menunjukkan bahwa stabilitas tegangan di laboratorium lebih baik dari stabilitas tegangan di rumah penduduk dengan jumlah gangguan stabilitas tegangan yang lebih sedikit.

Hasil pengujian keseluruhan juga menunjukkan bahwarentang waktu antar data tegangan rms yang diperoleh berkisar antara 0,03 sampai 0,05 detik atau data tegangan rms untuk 2 siklus dengan frekuensi 50Hz, walaupun alat dibuat untuk mengukur dan mengambil data tegangan rms selama satu siklus atau 0,02 detik. Hal ini disebabkan program komputer perhitungan indikator stabilitas tegangan dan program komputer untuk menampilkan data tegangan rms dan kondisi stabilitas tegangan menggunakan waktu rata-rata sebesar 0,02 detik sebelum mengukur dan mengambil data tegangan rms berikutnya. Selain itu, frekuensi satu siklus saat pengambilan data berbeda-beda, yang berkisar antara 49,8-50,4 Hz juga mempengaruhi waktu saat pengambilan satu data tegangan rms.

## 5. Kesimpulan

Alat monitoring stabilitas tegangan dapat bekerja dan mampu menampilkan kondisi stabilitas tegangan jangka pendek secara dinamis. Alat monitoring stabilitas hanya mampu memonitoring kondisi stabilitas tegangan jangka pendek dengan durasi lebih besar dari 0,03 detik atau 1,5 siklus dengan frekuensi 50 Hz. Monitoring stabilitas tegangan jangka pendek dapat dilakukan dengan waktu yang lebih cepat jika kondisi stabilitas tegangan tidak ditampilkan pada layar monitor melainkan dalam bentuk sistem peringatan berupa lampu indikator atau bunyi.

## Daftar Pustaka

- [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 2017].
- [5]. H. Markiewitz and A. Klajn, "Voltage Disturbances – Std. EN50160 – Voltage Characteristics in Public Distribution Systems", Leonardo Power Quality Initiative, July 2004.
- [6] A. Kadir, "Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino, Penerbit Andi Yogyakarta, 2013.