

SIMULASI PENGUKURAN NILAI TEGANGAN RMS BERBASIS SISTEM MIKROKONTROLER ARDUINO

I Gede Suputra Widharma, I Nengah Sunaya
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

Abstrak: Simulasi penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai tegangan RMS jala-jala listrik dalam meningkatkan faktor daya. Pada simulasi ini, tegangan jala-jala diubah menggunakan transformator penurun tegangan dan dikondisikan agar sesuai dengan karakter mikrokontroler arduino. Sistem mikrokontroler arduino kemudian mengendalikan proses kerja simulasi tersebut. Dari 8 bit data ADC, dapat dihitung nilai tegangan RMS jala-jala listrik. Berdasarkan data dan analisis yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil hitungan nilai tegangan RMS. Nilai tegangan ini akan selalu tepat untuk tegangan masukan antara 170 V hingga 250 V dengan frekuensi sebesar 45 Hz hingga 60 Hz. Kesalahan pengukuran masih cukup besar untuk setiap penurunan tegangan jala-jala listrik.

Kata kunci: tegangan jala-jala, nilai RMS, mikrokontroler.

SIMULATION OF MEASUREMENT TO RMS VOLTAGE VALUE BASED ON ARDUINO MICROCONTROLLER SYSTEM

Abstract: This research simulation is to measure RMS voltage value in electric network to improve electrical power factor. In this simulation, the grid voltage is converted using the step-down transformer and adjusted in order to be properly sampled by the microcontroller. Arduino microcontroller system controls the process of operation of the simulation. From the 8-bit format ADC data, true-RMS value can be calculated. Based on data and analysis performed, the RMS voltage value where the voltage will always be accurate if the input voltage ranges from 170 V to 250 V with its frequency 45 Hz to 60 Hz. Measurement error will be even greater with the decreasing voltage grid.

Keywords: grid voltage, true-RMS, microcontroller.

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan dalam rangka menuju terwujudnya penelitian perbaikan kualitas daya listrik berbasis mikrokontroler. Implementasi dari hasil penelitian tersebut nantinya harus dapat memonitor kualitas daya listrik dan berusaha memperbaikinya. Sistem harus dapat mengukur nilai tegangan dan arus RMS untuk semua bentuk gelombang masukan (*true-RMS*), daya dan faktor daya, hingga pada suatu saat sistem harus dapat memilih kapasitor dan tapis yang harus digunakan untuk memperbaiki kualitas daya listrik.

Pada penelitian sebelumnya, telah dapat dibentuk pengukur nilai frekuensi tegangan jala-jala listrik dan beda fase antara tegangan jala-jala dan arus beban berbasis mikrokontroler (Kurniawan, 2009). Dari penelitian tersebut, algoritma pengukur nilai frekuensi tegangan disempurnakan agar didapat galat yang lebih kecil kemudian ditambah algoritma baru untuk mengukur nilai tegangan RMS jala-jala listrik. Sistem juga diharapkan dapat memilah frekuensi fundamental di antara beberapa komponen frekuensi harmonik yang ada.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penghitungan Nilai RMS

Nilai efektif atau *root-mean square* (RMS) suatu isyarat merupakan nilai panas yang dihasilkan oleh sebuah gelombang periodik yang memiliki beban resistor. Nilai tegangan RMS dari suatu gelombang periodik dinyatakan sebagaimana Persamaan (1) (Boylestad, 1992).

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v(t)]^2 dt} \dots\dots\dots 1)$$

V_{rms} merupakan nilai tegangan RMS yang sesungguhnya (*true-RMS*) dan berlaku untuk semua bentuk gelombang. Agar dapat dikerjakan oleh mikrokontroler, Persamaan (1) dijadikan diskret menjadi **Error! Reference source not found.**

Agar dapat mengukur nilai tegangan RMS dengan memperhitungkan komponen harmonik hingga orde ke- k , maka nilai frekuensi cuplikan minimal harus mengikuti 0

$$f_s = 2 \times k \times f_{PLN} \dots\dots\dots 2)$$

2.2 Sistem Mikrokontroler sebagai Pengatur Simulasi

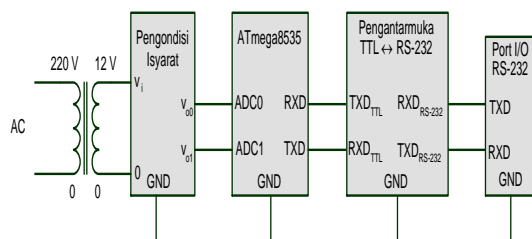
Mikrokontroler keluarga AVR ATmega8535 merupakan salah satu jenis mikrokontroler 8 bit dengan memori (SRAM) 512 byte yang mempunyai fasilitas ADC 10 bit dengan masukan 8 saluran. Proses konversi pada ADC menggunakan metode *successive approximation* (Atmel, 2006), sehingga waktu konversi ADC atau t_{ADC} bersifat konstan dan tidak terpengaruh oleh nilai tegangan masukan (Tocci, 1998).

Mikrokontroler ini mempunyai tiga buah pewaktu (*timer*), yaitu dua buah pewaktu 16 bit dan sebuah pewaktu 8 bit. Mikrokontroler ini juga dilengkapi dengan fasilitas komunikasi serial USART Dengan adanya beberapa fasilitas tersebut, dapat dibentuk pengukur nilai RMS dengan pelaporan data (*data logging*) ke komputer (Jovanović, 2007).

3. METODE PENELITIAN

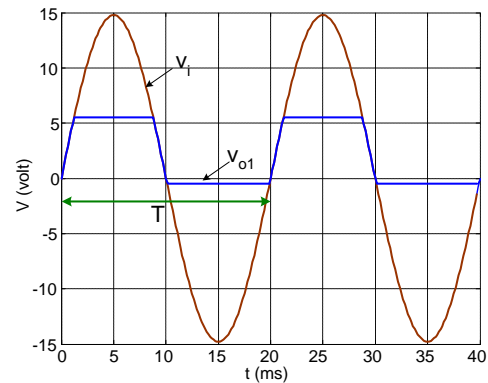
3.1 Penghitung Nilai Tegangan Jala-jala

Sistem pengukur nilai tegangan RMS ini dibuat berdasar blok diagram pada Gambar 1. Isyarat masukan bagi sistem ini berupa isyarat tegangan bolak-balik pada suatu jala-jala listrik.



Gambar 1 Blok diagram system

Sebagaimana terlihat pada Gambar 1, tegangan jaringan diumpankan ke transformator yang akan menurunkan tegangan jaringan ke tegangan bolak-balik v_i . Transformator yang nantinya sekaligus digunakan untuk penurunan tegangan pada sumber daya (*power supply*) ini mempunyai perbandingan tegangan antara kumparan primer dan sekunder yang tidak konstan. Tegangan keluaran terminal sekunder transformator diumpankan ke blok pengondisi isyarat. Keluaran blok pengondisi isyarat diumpankan ke saluran 0 dan 1 ADC (ADC₀ dan ADC₁) mikrokontroler. Nilai frekuensi dan tegangan RMS hitungan mikrokontroler secara periodik dikirim ke komputer melalui port serial RS-232.



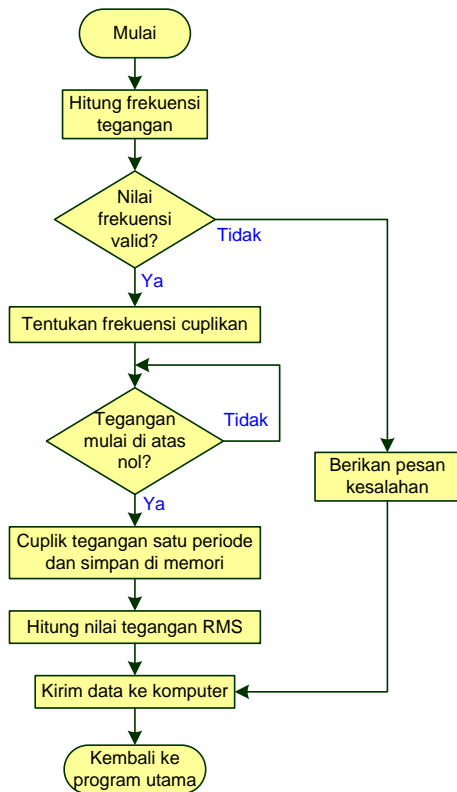
Gambar 2. Sinyal Input Mikrokontroler

Penentuan periode tegangan dilakukan menggunakan untai detektor perlintasan terhadap nilai nol (*zero cross detector*). Sebuah isyarat sinusoidal dengan tegangan $v_{o1} = 12V$ dari terminal 0 dan 12V belitan sekunder trafo akan terpotong sehingga bentuk v_{o1} menyerupai gelombang kotak seperti pada **Error! Reference source not found.**

Sinyal v_{o0} berasal dari konversi v_i yang ditambah dengan offset DC 2,5 volt. Tegangan yang diumpankan ke pin ADC₀ ini diinputkan ADC untuk menentukan nilai tegangan RMS. Dalam kondisi sistem mendapat tegangan masukan maksimal, yaitu 250 volt, dan berbentuk sinusoida. Keluaran tersebut dikalibrasi agar sistem menampilkan $V_{RMS} = 250$ volt.

3.2 Diagram Alir Simulasi

Agar data tegangan RMS terlihat jelas, data tersebut diperbarui setiap 500 milidetik sehingga program pengukur tegangan RMS ini dijalankan setiap 500 milidetik. Program ini pun harus selesai dijalankan sebelum 500 milidetik. Agar terlaksana fungsi ini, jalannya program tersebut dipicu oleh interupsi yang dibangkitkan oleh pewaktu 0. Program utama di mikrokontroler ini mengikuti diagram alir pada **Error! Reference source not found.** Semua tugas tersebut dituangkan dalam puluhan subrutin yang membentuk daftar program yang ditulis dalam bahasa *assembler*. Diagram alir program ini dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**



Gambar 3. Diagram Alir Simulasi

3.3. Proses Pengukuran Nilai RMS

Pada program pengukur tegangan RMS terdapat empat subrutin yang harus dikerjakan mikrokontroler, yaitu: menghitung nilai frekuensi tegangan, melakukan pencuplikan atas isyarat di ADC0 dan menyimpan hasil cuplikan di memori, menghitung nilai RMS, dan mengirim data RMS ke komputer. ADC mencuplik isyarat tegangan selama satu periode. Pada saat ADC bekerja mengonversi isyarat analog ke data digital, keluaran Port 0 dijadikan berlogika tinggi. Keluaran port tersebut digunakan untuk mengecek ketepatan frekuensi cuplikan. Dari siklus kerja (*duty cycle*) gelombang kotak keluaran pin ini dapat dihitung perbandingan waktu sibuk ADC terhadap total waktu yang tersedia.

Setelah proses pencuplikan selesai dan data telah tersimpan dalam larik yang diberi notasi v_i , dapat dilakukan penghitungan nilai RMS mengikuti **Error! Reference source not found.** dengan $N=64$. Penghitungan nilai RMS ini terdiri dari beberapa proses sebagai berikut.

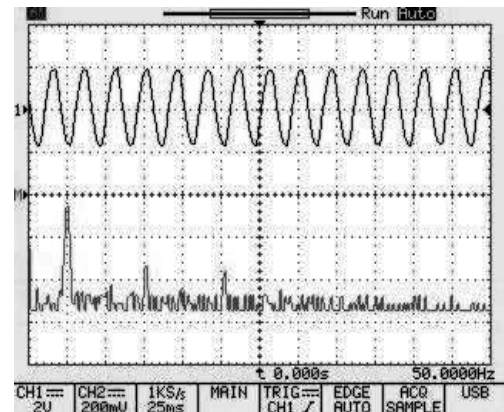
1. Penguadratan data
2. Pengakumulasian 64 data
3. Pembagian data takbertanda 20 bit menjadi data 14 bit.
4. Pengakaran data 14 bit menjadi data 8 bit nilai arus RMS.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Proses

Data dan analisis dibatasi hanya untuk tegangan PLN dengan frekuensi jala-jala 50 Hz. Simulasi ini menggunakan transformator penurun tegangan. Bentuk isyarat tegangan masukan dalam kawasan waktu dapat diamati secara visual menggunakan osiloskop sebagaimana grafik di bagian atas pada

Gambar 44.

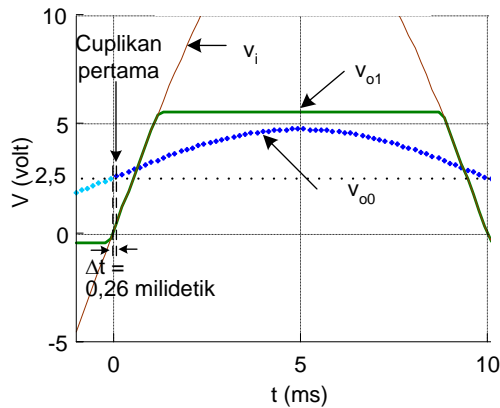


Gambar 4. Bentuk Tegangan

Amplitudo tegangan telah disesuaikan seperlunya untuk mendapat grafik spektrum terbaik. Secara visual terlihat bahwa isyarat tegangan dengan frekuensi 50 Hz dari jala-jala PLN terkontaminasi komponen harmonik. Selang waktu antara dua cuplikan berturut-turut adalah $t_s = 312,5 \mu s$.

Data input pada ADC dinyatakan dengan v_i . Kemudian CPU menghitung nilai tegangan RMS. Lima subrutin pada Tabel 1 dieksekusi CPU agar **Error! Reference source not found.** dapat dikerjakan sehingga menghasilkan data ASCII RMS yang dapat dikirim ke komputer.

Dari Tabel 1, total waktu eksekusi untuk penghitungan nilai tegangan RMS tidak akan melebihi $250 \mu s$ sehingga total waktu proses pencuplikan hingga tersimpannya nilai tegangan RMS di memori sekitar $20.250 \mu s$. Simulasi melakukan pengukuran nilai RMS satu kali dalam 0,5 detik.



Gambar 5. Proses Pengambilan Data

Proses pengiriman data terlaksana menggunakan USART. Keterlibatan CPU hanya pada saat menyalin data ke register data USART Pada saat data dikirim. Selama proses pengiriman data, waktu CPU akan lebih banyak digunakan untuk menunggu sehingga masih dimungkinkan diberi instruksi lain selama menunggu tersebut. Kecilnya persentase kesibukan CPU dalam waktu ini digambarkan dalam bentuk garis vertikal untuk waktu sekitar 20.250 μ s hingga 28.000 μ s. Waktu selang antara dua cuplikan berurutan adalah sekitar 20 μ s.

Tabel 1 Estimasi waktu eksekusi

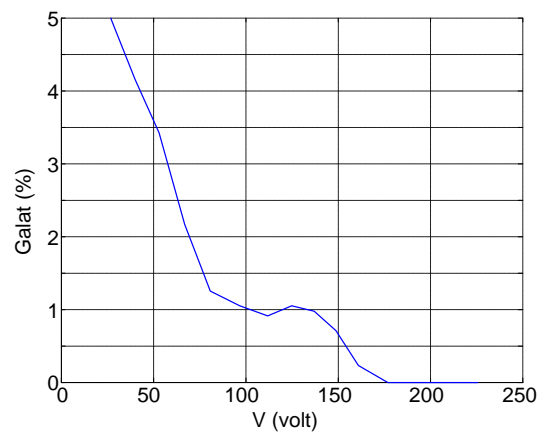
Subrutin	Data (panjang bit maksimal/ alokasi memori)		Estimasi waktu eksekusi maksimal (μ s)
	Masukan	keluaran	
penguadratan data bertanda 8 bit menjadi data takbertanda 16 bit	v_i (8 bit/8 bit)	v_i^2 (14 bit/16 bit)	1
Pengakumulasian 64 data takbertanda 16 bit menjadi data takbertanda 24 bit	v_i^2 (14 bit/16 bit)	$\sum_{i=0}^{63} [v_i]^2$ (20 bit/24 bit)	65
pembagian data takbertanda 24 bit dengan 64 menjadi data 16 bit	$\sum_{i=0}^{63} [v_i]^2$ (20 bit/24 bit)	$\frac{1}{64} \sum_{i=0}^{63} [v_i]^2$ (14 bit/16 bit)	2
Pengakaran data 16 bit menjadi data 8 bit	$\frac{1}{64} \sum_{i=0}^{63} [v_i]^2$ (14 bit/16 bit)	$\sqrt{\frac{1}{64} \sum_{i=0}^{63} [v_i]^2}$ (8 bit/8 bit)	79
tegangan RMS	$VRMS$ (heksadesimal) (8 bit/8 bit)	$VRMS$ (ASCII) (24 bit/24 bit)	94
Konversi data ke ASCII			
Total			241

Data pertama dapat tergeser maju atau mundur maksimal 20 μ s. Dikarenakan selang waktu dua cuplikan berurutan bernilai konstan, yaitu t_s , maka

tergesernya waktu cuplikan pertama akan membawa akibat tergesernya waktu cuplikan berikutnya hingga cuplikan terakhir. Tergesernya waktu semua cuplikan ini tidak akan mengubah nilai arus RMS hasil hitungan karena proses pencuplikan tetap dilakukan dalam waktu satu periode. Secara umum nilai kesalahan pengukuran (*error*) cukup kecil pada tegangan tinggi.

4.2 Analisis Pengukuran Tegangan RMS

Hasil pengukuran atas tegangan jala-jala listrik PLN yang sedikit terkontaminasi komponen harmonik menghasilkan nilai galat yang cukup bervariasi untuk berbagai nilai tegangan terukur. Dalam kenyataannya, nilai tegangan harus konstan di sekitar nilai normal agar beban dapat bekerja secara baik. Dengan mengambil kisaran pengukuran tegangan dari 170 V hingga 250 V, maka sistem ini dapat dikatakan layak diterapkan sebagai voltmeter digital untuk mengukur tegangan jala-jala listrik dengan galat bernilai nol. Pengukuran selisih waktu dua sisi naik v_{o1} yang berturut pada **Error! Reference source not found.**5 untuk menentukan periode tegangan (T) menggunakan pewaktu 2. Frekuensi tegangan yang terlalu rendah mengakibatkan nilai akumulator untuk pengukur selisih waktu tersebut menjadi *overflow*, sedangkan frekuensi tegangan yang terlalu tinggi akan mengakibatkan nilai periode cuplikan t_s menjadi terlalu rendah bahkan dapat lebih kecil daripada waktu konversi ADC (t_{ADC}). Dari hasil simulasi, sistem ini dapat mengukur tegangan dengan frekuensi 22 Hz hingga 80 Hz dengan galat pengukuran tegangan.



Gambar 6. Kesalahan Pengukuran Tegangan RMS Jala-jala

Hasil pengukuran telah dikalibrasi sehingga galat pengukuran tegangan berfrekuensi 45 Hz hingga 60 Hz adalah 0 %. Meskipun demikian, tegangan berfrekuensi 30 Hz hingga 80 Hz tetap dapat diukur dengan galat absolut di

bawah 0,5 % sehingga kemungkinan kesalahan hanya satu digit.

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari pembahasan yang telah dipaparkan di muka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut.

1. Simulasi pengukuran nilai tegangan RMS jala-jala listrik dengan tegangan dari 25 V hingga 250 V dan dengan frekuensi 25 Hz hingga 65 Hz dengan Mikrokontroler Arduino.
2. Hasil pengukuran sesuai dengan perhitungan untuk kisaran 170 V hingga 250 V dengan frekuensi 45 Hz hingga 60 Hz.

5.2 Saran

Algoritma yang digunakan dalam perhitungan nilai tegangan RMS dapat dikembangkan menjadi algoritma penghitung nilai arus RMS jala-jala.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atmel, 2006, *ATmega8535 8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash*, Atmel Corporation, California, U.S.A.
- [2] AVR Freaks, *What is Different Between True RMS and RMS?*, AVR Freaks Forum, online: <http://www.avrfreaks.net/index.php?> Diakses 26 April 2010.
- [3] Boylestad, Robert, Noshelsky, Louis, 1992, *Electronic Devices & Circuit Theory*, Fifth Edition, Prentice-Hall
- [4] Jovanović, Borisav, Petković, Predrag, Damnjanović, Milunka, 2007, *Serial Port Interface For Microcontroller Embedded Into Integrated Power Meter*, Laboratory for Electronic Design Automation, Faculty of Electronic Engineering, University of Niš, Aleksandra Medvedeva.
- [5] Tidwell, Jack, 2010, *Atmel AVR Microcontroller Basic Math Code Library for Square Roots*, online: <http://techref.massmind.org/techref/atmel/avr/sqrt16b-jt.htm>, diakses 25 Maret 2010.
- [6] Tocci, Ronald J., Neal S. Widmer, 1988, *Digital Systems*, 7th edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U.S.A.