



Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR

Jumrianto✉, Wahyudi, Abdul Syakur

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas IVET, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.31331/jsitee.v1i1.7525-1>

Info Articles

Sejarah Artikel:

Disubmit 1 Jun 2020

Direvisi 1 Juli 2020

Disetujui 29 Juli 2020

Keywords:

Accuracy; Calibration; Linear
Regression; Sensor;

Abstrak

Kalibrasi wajib dilakukan pada setiap perangkat pengukuran. Pemerintah Indonesia membentuk beberapa lembaga yang secara khusus menangani kalibrasi perangkat pengukuran. LIPI dengan Puslit Metrologi, Departemen kesehatan dengan Balai Pengujian Fasilitas Kesehatan, Dinas Perindustrian dan Perdagangan dengan Balai Metrologi. Kalibrasi pada Sensor Tegangan dan Sensor Arus dalam makalah ini dilakukan dengan mengambil beberapa sampel data pada sensor tegangan dengan range 0 – 220 volt dan diumpankan pada step up transformer dengan range 0 – 8000 volt. Sensor arus dengan range 0 – 5 ampere. Data diolah dengan microsoft excel untuk mendapatkan Rumus Regresi Linear dan diterapkan pada Software Bascom AVR dan membandingkan hasilnya dengan multimeter terstandar. Penerapan Rumus Regresi Linear pada kalibrasi sensor tegangan dalam Makalah ini, mendapatkan Mean Absolute Percentage Error adalah 3,21%, dengan peyimpangan 113,98, dan akurasi pengukuran 96,97%. Sedangkan Penerapan Rumus Regresi Linear pada kalibrasi sensor arus ZMCT103C mendapatkan Mean Absolute Percentage Error adalah 7,74%, dengan peyimpangan 7,83 dan akurasi pengukuran 92,26%.

Abstract

Calibration is mandatory for each measuring device. The government has formed several institutions to handle the calibration of measuring devices. LIPI with Metrology Research Center, Ministry of Health with Health Facility Testing Center, Industry and Trade Service with Metrology Center. The calibration of voltage sensors and current sensors in this paper is done by taking a sample of data on a voltage sensor with a range of 0 - 220 volts and feeding it to a step up transformer with a range of 0-8000 volts. Current sensor range 0 - 5 amperes. The data were processed with Microsoft Excel to obtain the Linear Regression Formula and applied to the Bascom AVR Software and compared the results with a standard multimeter. The application of the Linear Regression Formula to the voltage sensor calibration in this paper, obtains the Mean Absolute Percentage Error of 3.21%, with a deviation of 113.98, and a measurement accuracy of 96.97%. While the application of the Linear Regression Formula on the ZMCT103C current sensor calibration, the Mean Absolute Percentage Error is 7.74%, with a deviation of 7.83 and a measurement accuracy of 92.26%.

✉ Alamat Korespondensi:
E-mail: jumrianto@ivet.ac.id

PENDAHULUAN

Kalibrasi sensor adalah salah satu aspek terpenting dalam pemantauan energi. Pengukuran, kontrol dan pengelolaan peralatan listrik menjadi tanggungan atas penginderaan yang akurat dan dapat diandalkan. Tegangan dan arus adalah satuan dasar dimana ditentukan semua satuan listrik lainnya (Abubakar, Khalid, Mustafa, Shareef, & Mustapha, 2017). Dalam pengujian arus bocor di laboratorium, arus input dan tegangan input berubah dengan sangat cepat, sehingga sulit untuk dideteksi dengan alat ukur biasa. Oleh karena itu dibutuhkan sensor arus dan sensor tegangan yang bisa mendeteksi secara real time perubahan tersebut (Jumrianto, Wahyudi, 2017). Untuk meningkatkan akurasi pengukuran Pelacakan Listrik diperlukan pengukuran secara on-line dengan memanfaatkan sensor arus dan sensor tegangan. Untuk menguji keakuratan sensor tegangan dan sensor arus maka harus dilakukan pengujian sensitivitas pada sensor tegangan tersebut (Abdul Syakur, Wahyudi, Jumrianto, 2018). Sensor Arus memiliki kepekaan sebesar 18,33 yang artinya setiap kenaikan Arus 1 A maka ADC akan berubah sebesar 18,33 bit dengan *error* sebesar $2 \pm 1\%$. Sensor tegangan memiliki kepekaan sebesar 0,19, yang artinya setiap kenaikan Tegangan 1 V maka ADC akan berubah sebesar 0.19 dengan kesalahan pembacaan sebesar $4 \pm 2\%$ (Dewanto & Ashari, 2012). Diperlukan sensor untuk mengukur perubahan kecil, dalam hal ini sensor dituntut untuk menunjukkan sensitivitas tinggi, menanggapi secara signifikan untuk perubahan menit dalam medium dibawah pengukuran. Seringkali, linearitas sensor tersebut terbatas pada kisaran yang dibatasi, diluar itu akan merespon tidak akurat (Syam, 2013). Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan *analog* dengan sistim komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/berat, aliran dan sebagainya kemudian diukur dengan menggunakan sistim digital (Hariyanto, 2015).

A. Sensor Tegangan

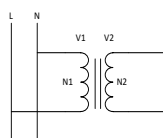
Dalam sistem kerja, *transformer* dibagi dua, yaitu *transformer* penaik tegangan (*step up*) dan *transformer* penurun tegangan (*step down*) (Theraja, 1997). *Transformer Step Down* kemudian menurunkan tegangan ke tingkat yang aman untuk penggunaan di rumah, kantor dan pabrik. Jika tegangan masukan *Transformer* adalah resistansi beban pada sisi sekunder *transformer* dibagi dengan kuadrat rasio belitan. Ini disebut sebagai *Transformer* resistansi atau lebih umum lagi *Transformer* impedansi (Masters, 2004). *Transformer* yang digunakan sebagai sensor tegangan adalah *Transformer* penurun tegangan (*Step down*) (Jumrianto, Anto Budhi, 2003). Dengan mengetahui N_1 dan N_2 , membaca tegangan V_2 serta menganggap *transformer* ideal, maka tegangan V_1 adalah :

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} \cdot V_2 \quad (1)$$

Dengan N_1/N_2 adalah *turn ratio* atau perbandingan lilitan, sehingga untuk mengetahui tegangan pada sisi primer didapatkan :

$$V_1 = \text{turn ratio} \times V_2 \quad (2)$$

Gambar 1 contoh *transformer* tegangan, dengan N_1 adalah lilitan disisi Primer dan N_2 adalah lilitan disisi sekunder. V_1 adalah tegangan disisi Primer dan V_2 adalah tegangan disisi sekunder (Jumrianto, Moch Toni Prasetyo, 2015). Apabila diketahui tegangan disisi sekunder yang dijadikan sensor, maka tegangan disisi primer dapat diprediksi dengan menerapkan rumus-rumus regresi linear kedalam *software* yang digunakan pada penerapan mikrokontroler (Jumrianto, Wahyudi, 2018).



Gambar 1. *Transformer* Tegangan.

Transformer Sebagai Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang bisa langsung digunakan umumnya tersedia di pasaran dan sudah berupa modul yang siap dioperasikan, tetapi tetap perlu dilakukan kalibrasi (Zeming, 2013). Tegangan terdeteksi dalam arus AC, untuk memudahkan perhitungan dalam program mikrokontrol, maka tegangan AC dikonversikan menjadi tegangan searah. Gambar 2 adalah modul sensor tegangan AC bisa mendeteksi tegangan yang masuk pada sisi primer dengan range 0 - 220 volt. Modul sensor tegangan ini terdiri dari sebuah transformer penurun tegangan, dioda penyearah, kapasitor dan beberapa buah resistor. Tegangan AC disearahkan menggunakan dioda agar bisa dideteksi oleh mikrokontroler dan memudahkan dalam perhitungan konversi di mikrokontroler.



Gambar 2. Modul Sensor Tegangan.

B. Sensor Arus Hall Effect ZMCT103C

Fenomena *hall effect* ditemukan pada tahun 1879. Penguat tertentu diperlukan untuk mentransformasikan sinyal arus ke sinyal tegangan (Chang, Lin, & Chen, 2004). *Hall effect sensor* akan menghasilkan sebuah tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. Sensor *hall effect* ini terdiri atas sebuah lapisan silikon yang berfungsi untuk mengalirkan arus listrik. Dengan metode ini arus yang dilewatkan akan terbaca pada fungsi besaran tegangan berbentuk gelombang sinusoidal (L. Umanand S.R. Bhat, 1992). Sensor arus keluaran Zeming Company ini adalah ZMCT103C terdiri dari rangkaian IC sensor arus *hall effect* terintegrasi penuh yang memberikan sinyal tegangan *keluaran* dengan *noise* yang rendah dan sangat akurat, sebanding dengan arus AC atau DC yang diukur. Digunakan pada berbagai aplikasi, termasuk *inverter* otomotif dan system elektronik power steering (EPS), *inverter* untuk konsumen industri. Gambar 3 bentuk fisik sensor arus ZMCT103C.



Gambar 3. Bentuk fisik sensor arus ZMCT103C , 1 adalah Pin Ground, 2 adalah Pin +5V.

Spesifikasi sensor ZMCT103C ini adalah : Sensor arus *onboard* kecil yang presisi, Resistor *sampling onboard*, Modul dapat mengukur 0 - 5 ampere arus bolak-balik, tegangan keluaran *analog* yang sesuai 5A/5mA, Ukuran papan pcb: 18,3 mm x17 mm, Range arus primer pada 50/60 Hz : 5 A, Arus primer maksimum pada 50/60 Hz adalah 20 A, *Turn ratio*: np: ns = 1: 2.500, *Winding d.c. Resistance* pada 20°C : 155Ω, Akurasi @ $r_l \leq 10 \omega$: 2%, Suhu operasional: -40 sampai 85°C, Suhu penyimpanan: -45 sampai 90°C, Tegangan penahanan dielektrik: 4.000 V/1mA/1detik.

Modul Sensor Arus ZMCT103C

VCC adalah positif sumber tegangan catu daya, sedangkan GND adalah negatif sumber tegangan catu daya. Untuk tegangan keluaran analog ada pada kaki analog keluaran. Keluaran dari sensor arus ZMCT103C dihubungkan dengan penyearah sehingga bisa dideteksi pada mikrokontroler. Konfigurasi untuk pin-pin modul sensor arus ZMCT103C dapat dilihat pada Gambar 4.

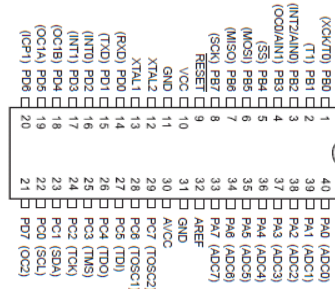


Gambar 4. Konfigurasi pin untuk pemasangan sensor arus ZMCT103C.

Keluaran dari sensor arus merupakan tegangan AC, diperlukan tegangan DC untuk menterjemahkan nilai arus masuk, oleh karena itu diperlukan sebuah rangkaian penyearah agar tegangan yang masuk ke mikrokontroler bisa di deteksi secara *real time*.

C. AVR ATmega 32

Alf and Vegard's Risc Processor (AVR) merupakan salah satu jenis mikrokontroler yang di dalamnya terdapat berbagai macam fungsi. *ATmega 32* merupakan mikrokontroler AVR 8 bit berkemampuan tinggi dengan daya yang rendah, dan memiliki 32 x 8 *general purpose working register*. pemrograman *flash* memiliki kapasitas 8K Bytes, dan memiliki daya tahan 1000 siklus tulis/hapus program. Fitur-fitur lainnya yang disediakan *ATmega 32* adalah adanya 4 kanal PWM, 6 kanal *ADC* 10 bit, pemrograman *serial* USART, *On-chip Analog Comparator*, dan *interrupt* (Madhawirawan, 2013). Konfigurasi dari kaki-kaki IC AVR ATmega 32 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Konfigurasi pin ATmega 32.

D. Regresi Linear

Persamaan regresi adalah Persamaan matematik yang memungkinkan peramalan nilai suatu peubah tak bebas (*dependent variable*) dari nilai peubah bebas (*independent variable*) Gagasan perhitungan ditetapkan oleh Sir Francis Galton (1822-1911). Diagram pencar (*Scatter diagram*) adalah diagram yang menggambarkan nilai-nilai observasi peubah tak bebas dan peubah bebas. Nilai peubah bebas ditulis pada sumbu X (sumbu horizontal). Nilai peubah tak bebas ditulis pada sumbu Y (sumbu vertikal). Nilai peubah tak bebas ditentukan oleh nilai peubah bebas (Yunigunarto, 2015). Untuk mendapatkan rumus pendekatan dalam mencari nilai tegangan atau nilai arus pada sisi masukan sensor (x), maka nilai keluaran sensor bisa dijadikan sebagai acuan (y) dalam menghitung nilai sebenarnya. Sebagai contoh, dalam bilangan berikut :

$$y = ax + b \quad (3)$$

maka untuk mencari nilai x adalah :

$$x = \frac{y-b}{a} \quad (4)$$

Untuk mencari rumus pendekatan tersebut, dilakukan pengambilan data kalibrasi dan hasil kalibrasi tersebut dijadikan acuan untuk mendapatkan rumus pendekatan dari *microsoft excel*, maka dilakukan langkah-langkah untuk mengubah tegangan terukur tersebut menjadi rumus yang akan digunakan sebagai dasar bagi mikrokontroler melakukan perhitungan.

E. Tingkat Kesalahan (*Error*)

Keandalan pengukuran dapat dilihat dari tingkat kesalahan antara hasil yang sebenarnya dengan yang terbaca pada alat ukur. Untuk menentukan kesalahan (*error*) tersebut dengan persamaan :

Error :

$$Error = V_{ukur} (V_u) - V_{software} (V_s) \quad (5)$$

Mean Absolute Error (MAE) :

$$Mean Absolute Error (MAE) = \sum_{t=1}^n \frac{|Error|}{n} \quad (6)$$

Mean Square Error (MSE) :

$$Mean Square Error (MSE) = \sum_{t=1}^n \frac{(V_u - V_s)^2}{n} \quad (7)$$

Root Mean Square Error (RMSE) :

$$Root Mean Square Error (RMSE) = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(V_u - V_s)^2}{n}} \quad (8)$$

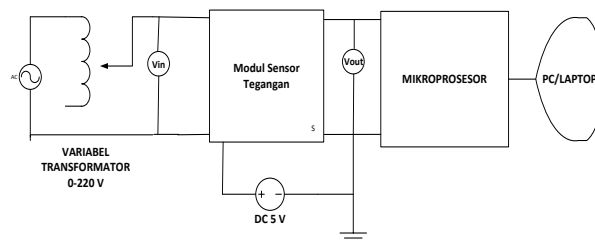
Mean Absolute Percentage Error (MAPE) :

$$Mean Absolute Percentage Error (MAPE) = \sum_{t=1}^n \frac{\frac{|V_u - V_s|}{V_u}}{n} \quad (9)$$

METODE

A. Kalibrasi dan Pengujian Modul Sensor Tegangan

Kalibrasi modul sensor tegangan diperlukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan masukan modul sensor dengan tegangan keluaran modul sensor agar didapatkan hubungan yang tepat untuk perhitungan tegangan disisi *software* dengan tegangan yang sebenarnya disisi masukan sensor. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat diagram pengujian seperti Gambar 6.



Gambar 6. Diagram kalibrasi dan pengujian.

Kalibrasi dilakukan dengan memberikan kenaikan tegangan secara berkala pada sisi masukan sensor tegangan. Kemudian mengukur dan mencatat tegangan terukur multimeter pada sisi masukan dan sisi keluaran seperti Tabel 2.

Tabel 2. Pengukuran perbandingan tegangan masukan terhadap tegangan keluaran sensor tegangan.

No	V _{masukan} (Step Up) (AC Volt)	V _{keluaran} (Stepup) (AC V)	V _{keluaran} Sensor (DC V)
1	5,445	197,654	0,0050
2	10,549	382,929	0,0382
3	15,349	557,169	0,1100
4	20,393	740,266	0,1955

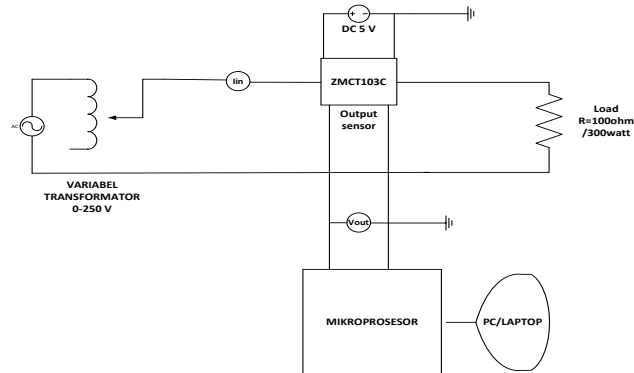
5	25,652	931,168	0,2882
6	30,615	1111,325	0,3771
7	35,683	1295,293	0,4695
8	40,569	1472,655	0,5599
9	45,218	1641,413	0,6466
10	50,140	1820,082	0,7411
11	55,160	2002,308	0,8344
12	60,240	2186,712	0,9297
13	65,470	2376,561	1,0285
14	70,590	2562,417	1,1265
15	75,460	2739,198	1,2129
16	80,500	2922,150	1,3077
17	85,950	3119,985	1,4111
18	90,160	3272,808	1,4913
19	95,410	3463,383	1,5904
20	100,380	3643,794	1,6852
21	105,530	3830,739	1,7879
22	110,460	4009,698	1,8803
23	115,780	4202,814	1,9795
24	120,810	4385,403	2,0753
25	125,000	4537,500	2,1540
26	130,460	4735,698	2,2603
27	135,440	4916,472	2,3550
28	140,580	5103,054	2,4495
29	145,620	5286,006	2,5482
30	150,770	5472,951	2,6438
31	155,100	5630,130	2,7287
32	160,240	5816,712	2,8257
33	165,390	6003,657	2,9242
34	170,320	6182,616	3,0182
35	175,640	6375,732	3,1178
36	180,450	6550,335	3,2109
37	185,350	6728,205	3,3045
38	190,410	6911,883	3,4012
39	195,180	7085,034	3,4951
40	200,320	7271,616	3,5937
41	205,730	7467,999	3,7052
42	210,890	7655,307	3,8038
43	215,750	7831,725	3,8975
44	220,120	7990,356	3,9807
Sensitivitas (V/V)			0,0181

Dari Tabel 2 dapat ditentukan sensitivitas sensor pada rentang tegangan masukan 0 s/d 220 V, sehingga sensitivitas sensor tegangan mV/V adalah tegangan keluaran tertinggi dibagi dengan tegangan masukan yang disensor (V):

$$S_{st} \left(\frac{V}{V} \right) = \frac{(3,9807)}{220,12} = 0,0181 \text{ V/V atau } 18,1 \text{ mV/V}$$

B. Kalibrasi dan Pengujian Modul Sensor Arus ZMCT103C

Kalibrasi modul sensor arus ZMCT103C diperlukan untuk mengetahui hubungan antara arus masukan modul sensor dengan tegangan keluaran modul sensor agar didapatkan hubungan yang tepat untuk perhitungan arus disisi *software* dengan arus yang sebenarnya disisi masukan sensor. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat diagram pengujian seperti Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian kalibrasi sensor arus ZMCT103C.

Kalibrasi sensor arus ZMCT103C dapat dilakukan dengan menghubungkan tegangan sumber VCC pada modul sensor arus ZMCT103C dengan sumber tegangan +5 V dan pin GND dengan *ground*. Berikan kenaikan tegangan secara berkala pada sisi masukan sensor arus. Lalu ukur tegangan keluaran pada modul sensor arus ZMCT103C dengan voltmeter. Jika tidak ada arus yang lewat melalui masukan, maka keluaran akan bernilai sekitar 0 V atau sesuai dengan kalibrasi. Lewatkan arus listrik melalui jalur masukan. Semakin besar arus yang melewati masukan, semakin besar pula perubahan tegangan pada pin keluaran. Kemudian dan mencatat tegangan terukur multimeter pada sisi masukan dan sisi keluaran, dibuat tabel seperti Tabel 3.

Tabel 3. Pengukuran perbandingan Arus masukan dan tegangan keluaran sensor arus ZMCT103C.

No'	Arus masukan (AC)	Vkeluaran Sensor
	mA	DC (V)
1	10,500	0,004887579
2	20,600	0,009775158
3	30,010	0,014662740
4	40,760	0,019550319
5	50,260	0,024437898
6	60,170	0,029325477
7	75,500	0,034213056
8	81,600	0,039100635
9	90,010	0,043988214
10	101,760	0,048875793
11	108,260	0,053763372
12	121,170	0,058650951
13	130,440	0,063538530

14	142,880	0,068426109
15	150,310	0,073313688
16	165,620	0,078201267
17	176,870	0,083088846
18	185,150	0,087976425
19	195,150	0,092864004
20	208,830	0,097751583
21	214,280	0,102639162
22	228,800	0,107526741
23	238,800	0,112414320
24	248,650	0,117301899
Sensitivitas (mV/mA)		0,45210

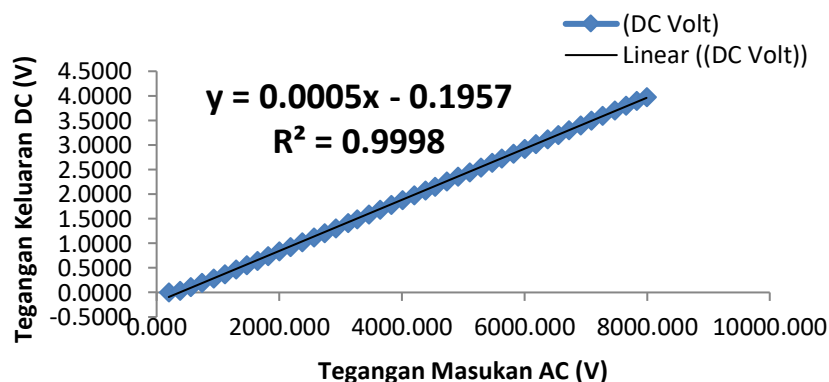
Berdasarkan kalibrasi dari Tabel 3 dapat dilakukan penghitungan sensitivitas sensor arus adalah sebagai berikut, sensitivitas sensor arus (mV/mA) adalah (tegangan keluaran max (mV) - tegangan keluaran min (mV)) dibagi dengan arus yg disensor (mA), sehingga :

$$S_{SA} \text{ (mV/mA)} = \frac{(117,301899 - 4,887579)}{248,65} = 0,4520 \text{ mV/mA}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis terhadap Hasil Tegangan Terukur Kalibrasi Sensor Tegangan

Dari Tabel 2 hasil kalibrasi sensor tegangan, didapatkan data $V_{\text{masukan}} \text{ ukur}$, $V_{\text{keluaran}} \text{ ukur}$. Buat grafik menggunakan *insert chart* dengan model *X Y scatter*. Tekan kanan *mouse* pada grafik warna biru, Pilih *add trendline*, Pilih *linear* dan centang *display equation on chart* dan centang *display r-squared value on chart*, Muncul rumus y, R kuadrat, dan garis lurus hitam sebagai tanda *linear data* seperti Gambar 10.



Gambar 10. Grafik menampilkan rumus y dan garis kelinieran data.

Rumus linear tersebut untuk diaplikasikan pada *software* yang digunakan untuk mengisi program pada mikrokontroler. Pada makalah ini digunakan *software Bascom AVR* versi 2.0.7.5. Dari grafik tersebut didapat rumus $y = 0,0005x - 0,1957$, Mencari nilai x, rubah rumus menjadi $x = (y + 0,1957) / 0,0005$. Tuliskan persamaan ke program *Bascom AVR* seperti berikut :

```
Data1 = Getadc(7) 'input sensor tegangan pada ADC7
D11 = Data1 * 5 'Data1 x 5 (vref)
D111 = D11 / 1024 '2^10 (adc 10 bit) adalah 1024
```

$$D1111 = D111 + 0.1957 \quad '0.1957 \text{ rumus linear}$$

$$D11111 = D1111 / 0.0005 \quad '0.0005 \text{ dari rumus linear sensor tegangan}$$

$$V = D11111 * xx \quad 'xx \text{ kalibrasi jika ada}$$

Sebelum ditulis pada *software* pengisi program mikrokontroler, maka rumus tersebut diuji menggunakan *microsoft excel*. Sebagai contoh, gunakan data tegangan keluaran *step up transformer* dan tegangan keluaran sensor tegangan pada Tabel 2 untuk mendapatkan nilai perkiraan sebenarnya dari keluaran *step up transformer*, jika rumus regresi linear pada Gambar 12 diterapkan untuk menghitung nilai sebenarnya dari keluaran *step up transformer*. Sehingga diketahui keakuratan hasil yang didapatkan. Hasil pengujian dimana y adalah data keluaran sensor tegangan, maka didapatkan data $V_{\text{keluaran step up transformer}}$ berdasarkan perhitungan rumus tersebut seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. V_{keluaran} hitung dari *step up transformer* setelah diterapkan rumus regresi linear.

No	V_{keluaran} Ukur (Step Up)	V_{keluaran} Sensor	V_{keluaran} hitung (Step Up)
	(AC V)	(DC V)	(V)
1	197,654	0,0050	401.40
2	382,929	0,0382	467.80
3	557,169	0,1100	611.40
4	740,266	0,1955	782.40
5	931,168	0,2882	967.80
6	1111,325	0,3771	1145.60
7	1295,293	0,4695	1330.40
8	1472,655	0,5599	1511.20
9	1641,413	0,6466	1684.60
10	1820,082	0,7411	1873.60
11	2002,308	0,8344	2060.20
12	2186,712	0,9297	2250.80
13	2376,561	1,0285	2448.40
14	2562,417	1,1265	2644.40
15	2739,198	1,2129	2817.20
16	2922,150	1,3077	3006.80
17	3119,985	1,4111	3213.60
18	3272,808	1,4913	3374.00
19	3463,383	1,5904	3572.20
20	3643,794	1,6852	3761.80
21	3830,739	1,7879	3967.20
22	4009,698	1,8803	4152.00
23	4202,814	1,9795	4350.40
24	4385,403	2,0753	4542.00
25	4537,500	2,1540	4699.40
26	4735,698	2,2603	4912.00
27	4916,472	2,3550	5101.40
28	5103,054	2,4495	5290.40
29	5286,006	2,5482	5487.80
30	5472,951	2,6438	5679.00

31	5630,130	2,7287	5848.80
32	5816,712	2,8257	6042.80
33	6003,657	2,9242	6239.80
34	6182,616	3,0182	6427.80
35	6375,732	3,1178	6627.00
36	6550,335	3,2109	6813.20
37	6728,205	3,3045	7000.40
38	6911,883	3,4012	7193.80
39	7085,034	3,4951	7381.60
40	7271,616	3,5937	7578.80
41	7467,999	3,7052	7801.80
42	7655,307	3,8038	7999.00
43	7831,725	3,8975	8186.40
44	7990,356	3,9807	8352.80

Beberapa nilai V_{keluaran} sensor tegangan untuk perhitungan, yaitu saat V_{masukan} 2739,198 V, V_{keluaran} 1,2129 dan V_{masukan} 3643,794 V, V_{keluaran} 1,6852, maka dapat dihitung :

$$x \text{ (volt)} = \frac{y + 0,1957}{0,0005}$$

V_{masukan} ukur 2739,198 V, maka $y = 1,2129$ maka

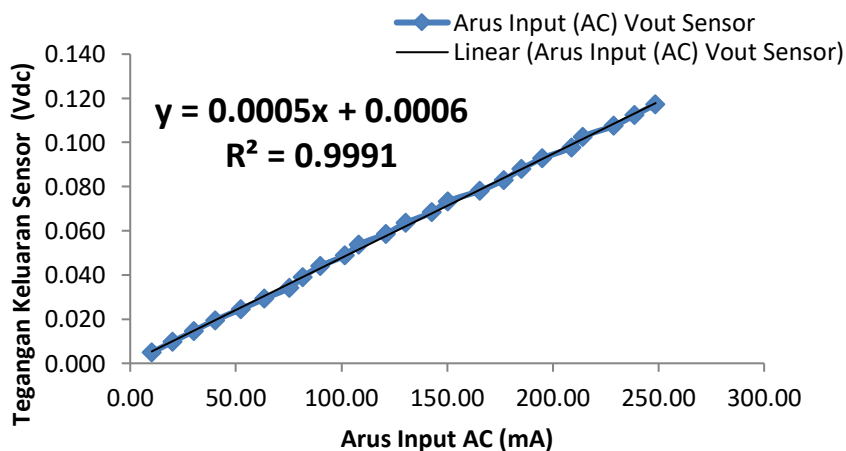
$$V_{\text{masukan}} \text{ hitung (x)} = \frac{1,2129 + 0,1957}{0,0005} = \frac{1,4086}{0,0005} = 2817,2 \text{ V}$$

V_{masukan} ukur 3643,794 V, maka $y = 1,6852$ maka

$$V_{\text{masukan}} \text{ hitung (x)} = \frac{1,6852 + 0,1957}{0,0005} = \frac{1,8809}{0,0005} = 3761,8 \text{ V}$$

B. Analisis terhadap Arus Terukur Hasil Kalibrasi Sensor Arus

Dari Tabel 3 hasil kalibrasi sensor arus ZMCT103C didapatkan data I_{masukan} ukur, V_{keluaran} ukur. Buat grafik menggunakan *insert chart* dengan model X Y *scatter*. Tekan kanan *mouse* pada garis grafik warna biru, pilih *add trendline*, pilih *linear* dan centang *display equation on chart* dan centang *display r-squared value on chart*. Muncul rumus y, R kuadrat, dan garis lurus hitam sebagai tanda *linear data* seperti Gambar 11.



Gambar 11. Menampilkan rumus y dan garis kelinearan data.

Persamaan linier yang didapat, diaplikasikan pada *software* Bascom AVR yang digunakan untuk mengisi program pada mikrokontroler. Didapatkan dari grafik rumus $y = 0,0005x + 0,0006$, maka untuk mencari nilai x , rubah rumus menjadi $x = (y - 0,0006) / 0,0005$. Tuliskan persamaan ke program *Bascom AVR* seperti berikut :

$Data2 = Getadc(6)$ (*input sensor arus pada ADC6*)

$D22 = Data2 * 5$ (*Data2 x 5 vref*)

$D222 = D22 / 1024$ (2^{10} (*adc 10 bit*) adalah 1024)

$D2222 = D222 - 0,0006$ (*0,0006 rumus linear (V terbaca Minimum saat kalibrasi)*)

$D22222 = D2222 / 0,0005$ (*0,0005 dari rumus linear sensor arus ZMCT103C*)

$I = D22222 * xx$ (*faktor kalibrasi jika ada*)

Sebelum ditulis pada *software* pengisi program mikrokontroler, maka rumus tersebut diuji menggunakan *microsoft excel*. Sebagai contoh digunakan data masukan dan data keluaran sensor arus ZMCT103C pada Tabel 3. Hasil pengujian di *microsoft excel* dimana y adalah data keluaran sensor, maka didapatkan data I_{masuk} berdasarkan perhitungan rumus tersebut seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Arus masukan (I_{masuk}) hitung, setelah diterapkan rumus regresi linear

No	Arus _{masuk} (AC)	V _{keluaran} Sensor	Arus Input (AC)
	mA	DC (V)	Hitung (mA)
1	10,20	0,004887579	8,575158
2	20,10	0,009775158	18,350316
3	30,20	0,014662740	28,12548
4	40,21	0,019550319	37,900638
5	52,30	0,024437898	47,675796
6	63,60	0,029325477	57,450954
7	75,500	0,034213056	67,226112
8	81,600	0,039100635	77,00127
9	90,010	0,043988214	86,776428
10	101,760	0,048875793	96,551586
11	108,260	0,053763372	106,326744
12	121,170	0,058650951	116,101902
13	130,440	0,063538530	125,87706
14	142,880	0,068426109	135,652218
15	150,310	0,073313688	145,427376
16	165,620	0,078201267	155,202534
17	176,870	0,083088846	164,977692
18	185,150	0,087976425	174,75285
19	195,150	0,092864004	184,528008
20	208,830	0,097751583	194,303166
21	214,280	0,102639162	204,078324
22	228,800	0,107526741	213,853482
23	238,800	0,112414320	223,62864
24	248,650	0,117301899	233,403798

Beberapa nilai I_{keluaran} sensor arus untuk perhitungan, yaitu saat I_{masuk} 10,2 mA, V_{keluaran} 0,004887579 V dan I_{masuk} 130 mA, V_{keluaran} 0,034213056, maka dapat dihitung :

$$x \text{ (mili ampere)} = \frac{y - 0,0006}{0,0005}$$

I_{masuk} ukur 10,2 mA, maka $y = 0,004887579$ maka

$$I_{masuk} \text{ hitung (x)} = \frac{0,004887579 - 0,0006}{0,0005} = \frac{0,004287579}{0,0005} = 8,575158 \text{ mA}$$

I_{masuk} ukur 130 mA, maka $y = 0,034213056$ maka

$$I_{masuk} \text{ hitung (x)} = \frac{0,063538530 - 0,0006}{0,0005} = \frac{0,06293853}{0,0005} = 125,87706 \text{ mA}$$

Pengujian Kalibrasi alat terhadap Multimeter Standar

Dalam pengujian kalibrasi alat terhadap mutimeter standar, dilakukan dengan dengan membandingkan tegangan dan arus terukur pada multimeter dengan tegangan dan arus yang terukur pada alat yang dibuat.

A. Kalibrasi Tegangan Terukur dan Tegangan Terbaca

Dari hasil perbandingan pengukuran tegangan terukur di multimeter dengan tegangan yang terbaca pada alat ukur dalam hal ini *software*, maka didapatkan sebagaimana Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan antara tegangan terukur di multimeter dengan tegangan terukur pada alat.

No	Tegangan pada Multimeter	Tegangan pada Alat	<i>Error</i>	<i>Absolute Error</i>	<i>Mean Square Error</i>	<i>Absolute Error dibagi actual value</i>
	Ukur (V)	<i>Software</i> (V)			(MSE)	(MAPE)
1	1476,97	1483,00	-6,03	6,03	36,31	0,0041
2	1837,51	1860,00	-22,49	22,49	505,98	0,0122
3	2178,00	2196,00	-18,00	18,00	324,00	0,0083
4	2558,79	2575,00	-16,21	16,21	262,86	0,0063
5	2987,85	3044,00	-56,15	56,15	3152,49	0,0188
6	3332,34	3415,00	-82,66	82,66	6832,68	0,0248
7	3673,92	3786,00	-112,08	112,08	12561,25	0,0305
8	4049,27	4196,00	-146,74	146,74	21531,16	0,0362
9	4416,26	4606,00	-189,74	189,74	36002,03	0,0430
10	4785,79	4987,00	-201,21	201,21	40484,66	0,0420
11	5161,13	5417,00	-255,87	255,87	65467,41	0,0496
12	5517,24	5808,00	-290,76	290,76	84543,12	0,0527
13	5869,35	6198,00	-328,65	328,65	108012,79	0,0560
14	6210,93	6559,00	-348,07	348,07	121152,72	0,0560
15	6610,96	6878,00	-267,04	267,04	71312,50	0,0404
16	7007,35	7230,00	-222,65	222,65	49572,13	0,0318
17	7376,89	7588,00	-211,11	211,11	44569,12	0,0286
18	7715,93	7998,00	-282,07	282,07	79564,61	0,0366
19	7990,36	8248,00	-257,64	257,64	66380,43	0,0322
Total			-3315,18	3315,18	812268,26	0,61
<i>Mean Absolute Error (MAE)</i>					174,48	
<i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE) (%)</i>					3,21	
<i>Standard Deviasi</i>					113.9753182	
<i>Accuracy (%)</i>					96.79	

B. Kalibrasi Arus Terukur dan Arus Terbaca

Dari hasil perbandingan pengukuran arus terukur di multimeter dengan arus yang terbaca pada alat ukur dalam hal ini *software*, maka didapatkan sebagaimana Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan arus pengukuran multimeter dan pengukuran alat

No	Arus pada Multimeter	Arus pada Alat	<i>Error</i>	<i>Absolute Error</i>	<i>Mean Square Error (MSE)</i>	<i>Absolute Error dibagi Actual Value (MAPE)</i>
	ukur (mA)	<i>Software (mA)</i>				
1	10,20	11,80	-1,60	1,60	2,56	0,1569
2	20,10	23,40	-3,30	3,30	10,89	0,1642
3	30,20	33,50	-3,30	3,30	10,89	0,1093
4	40,21	44,70	-4,49	4,49	20,16	0,1117
5	52,30	56,40	-4,10	4,10	16,81	0,0784
6	63,60	65,80	-2,20	2,20	4,84	0,0346
7	75,80	77,00	-1,20	1,20	1,44	0,0158
8	85,86	85,90	-0,04	0,04	0,00	0,0005
9	93,16	98,00	-4,84	4,84	23,43	0,0520
10	103,65	110,18	-6,53	6,53	42,64	0,0630
11	114,75	120,22	-5,47	5,47	29,92	0,0477
12	126,30	130,14	-3,84	3,84	14,75	0,0304
13	134,08	150,00	-15,92	15,92	253,45	0,1187
14	143,18	150,24	-7,06	7,06	49,84	0,0493
15	152,35	170,00	-17,65	17,65	311,52	0,1159
16	165,90	185,00	-19,10	19,10	364,81	0,1151
17	174,22	195,00	-20,78	20,78	431,81	0,1193
18	182,39	205,16	-22,77	22,77	518,47	0,1248
19	192,54	210,00	-17,46	17,46	304,85	0,0907
20	209,98	217,40	-7,42	7,42	55,06	0,0353
21	217,32	230,23	-12,91	12,91	166,67	0,0594
22	224,88	251,30	-26,42	26,42	698,02	0,1175
23	237,55	255,33	-17,78	17,78	316,13	0,0748
24	264,63	275,00	-10,37	10,37	107,54	0,0392
25	298,00	295,00	3,00	3,00	9,00	0,0101
Total			-233,55	239,55	3765,49	1,93
Mean Absolute Error (MAE)			9,58			
Mean Absolute Percentage Error (MAPE) (%)			7,74			
Standard Deviasi			7.826552562			
Akurasi (%)			92.26			

SIMPULAN

Penerapan Rumus Regresi Linear untuk menentukan nilai tegangan masukan pada *step up transformer* menggunakan sensor tegangan, dilakukan pengujian pada software Bascom AVR pada Makalah ini, mendapatkan Mean Absolute Percentage Error adalah 3,21%, dengan peyimpangan 113,98, dan akurasi pengukuran 96,97%. Sedangkan Penerapan Rumus Regresi Linear untuk menentukan nilai arus masukan pada sensor arus ZMCT103C mendapatkan Mean Absolute Percentage Error adalah 7,74%, dengan peyimpangan 7,83 dan akurasi pengukuran 92,26%. Rumus regresi linear untuk sensor tegangan dan sensor arus ini layak untuk digunakan karena mempunyai akurasi lebih dari 90%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Syakur, Wahyudi, J. (2018). Measurement System for Surface Leakage Current at Epoxy Resin Insulating Materials. *Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 268–271.
- Abubakar, I., Khalid, S. N., Mustafa, M. W., Shareef, H., & Mustapha, M. (2017). Calibration of ZMPT101B voltage sensor module using polynomial regression for accurate load monitoring. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(4), 1076–1084.
- Chang, Y. H., Lin, H. W., & Chen, G. (2004). Compensation on Hall effect sensor of PWM switching control. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 282(1–3), 307–310. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2004.04.072>
- Dewanto, P., & Ashari, A. (2012). Purwarupa kWh Meter Prabayar dengan Masukan Voucher Secara Remote Melalui Web Browser. *Ijeis*, 2(2), 2088–3714.
- Hariyanto, D. (2015). Analog to Digital Converter, 153, 3–10.
- Jumrianto, Anto Budhi, A. R. (2003). Designing And Making Kwh-Meter Digital One Phase, Based Personal Computer. *Final Project, Electrical Engineering University of Riau, Pekanbaru*.
- Jumrianto, Moch Toni Prasetyo, A. S. (2015). Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Kwh-Meter Digital 1 Fase Berbasis Microcontroller Avr Atmega 32. *Final Project, Electrical Engineering University of Muhammadiyah, Semarang*, 9(2), 1–23.
- Jumrianto, Wahyudi, A. S. (2017). Design and Development of Data Acquisition for Leakage Current at Electrical Tracking Test. *Proceedings of the 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 113–118.
- Jumrianto, Wahyudi, A. S. (2018). Desain Perangkat Akuisisi Data Arus Bocor Pada Pengujian Electrical Tracking Bahan Isolasi Berbasis Mikrokontroler AVR ATMEGA32. *Thesis Magister, Undip*.
- L. Umanand S.R. Bhat. (1992). Design of Magnetic Components for Switched Mode Power Converters.
- Madhawirawan, A. F. (2013). Trainer Mikrokontroler Atmega32 Sebagai Media Pembelajaran Pada Kelas Xi Program Keahlian Audio Video Di Smk Negeri 3 Yogyakarta. *Universitas Negeri Yogyakarta*, 1–15.
- Masters, G. M. (2004). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. <https://doi.org/10.1002/0471668826>
- Syam, R. (2013). *Dasar Dasar Teknik Sensor*.
- Theraja, B. L. T. and A. K. (1997). A Textbook of Electrical Technology Volume 2 : AC and DC Machine.
- Yunigunarto, T. (2015). Regresi & korelasi linier sederhana 1. [Http://File.Upi.Edu/Direktori/FIP/JUR._PEND._LUAR_SEKOLAH/197108171998021-SARDIN/Pertemuan_7.Pdf](http://File.Upi.Edu/Direktori/FIP/JUR._PEND._LUAR_SEKOLAH/197108171998021-SARDIN/Pertemuan_7.Pdf), 1–9.
- Zeming, N. (2013). Datasheet ZMPT101B.pdf. Retrieved from http://www.zeming-e.com/file/0_2013_10_18_093344.pdf