

---

## Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistansi Dari Resistor Standar Dalam Order Giga Ohm

Lukluk Khairiyati<sup>1</sup>, Muhammad Azzumar<sup>2</sup>, Nibras Fitrah Yaiyenda<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Pusat Riset dan Pengembangan Sumber Daya Manusia, Badan Standardisasi Nasional  
e-mail: [lukluk.kh29@gmail.com](mailto:lukluk.kh29@gmail.com)<sup>1</sup>, [muhhammad.azzumar90@gmail.com](mailto:muhhammad.azzumar90@gmail.com)<sup>2</sup>, [nibras@bsn.go.id](mailto:nibras@bsn.go.id)<sup>3</sup>

---

### ABSTRACT

*To support the low current measurement system for the nA range, it requires a high standard resistor characteristic for the nominal 1 GΩ, 10 GΩ and 100 GΩ with a variation of the test voltage that the gauge has carried out. The aim is to determine the effect of the test voltage on the resistance values of the standard 1 GΩ, 10 GΩ, and 100 GΩ resistors. Besides, it can also be useful to determine the correction of the resistance value when the supplied test voltage does not match its optimum working voltage. Measurements are made by lowering the standard resistor values of 1 GΩ, 10 GΩ and 100 GΩ using the direct method and the Teraohmmeter as the reference standard which has a test voltage capability of 1V to 1000 V. Changes in the resistance value to changes in the test current give the phenomenon that the resistance value changes quadratically. The quadratic equation obtained is  $y = 4E-10x^2 - 5E-07x + 1,0003 \text{ M}\Omega$ ,  $y = 6E-09x^2 - 8E-06x + 10,007 \text{ M}\Omega$  and  $y = 3E-07x^2 - 0.0005x + 100.11$  with standard uncertainty of 0, 0045 ppm, 1.2 ppm and 449 ppm.*

**Keywords:** high resistance, teraohmmeter, voltage characteristics, voltage coefficient

### INTISARI

Dalam rangka mendukung sistem pengukuran arus rendah untuk rentang nA diperlukan karakteristik resistor standar tinggi dalam untuk nominal 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ dengan variasi tegangan uji yang telah dilakukan pengukurannya. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh tegangan uji terhadap nilai resistansi dari resistor standar 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ. Selain itu, hal tersebut dapat bermanfaat juga untuk mengetahui koreksi nilai resistansi saat tegangan uji yang disuplai tidak sesuai dengan tegangan kerja optimumnya. Pengukuran dilakukan dengan menurunkan nilai resistor standar 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ dengan menggunakan metode langsung dan Teraohmmeter sebagai standar acuan yang memiliki kemampuan tegangan ujinya 1V sampai 1000 V. Perubahan nilai resistansi terhadap perubahan arus uji memberikan fenomena bahwa nilai resistansi berubah secara kuadrat. Persamaan kuadrat yang diperoleh adalah  $y = 4E-10x^2 - 5E-07x + 1,0003 \text{ M}\Omega$ ,  $y = 6E-09x^2 - 8E-06x + 10,007 \text{ M}\Omega$  dan  $y = 3E-07x^2 - 0,0005x + 100,11$  dengan ketidakpastian baku 0,0045 ppm, 1,2 ppm dan 449 ppm.

**Kata Kunci:** karakteristik tegangan, koefisien tegangan, resistansi tinggi, teraohmmeter

---

### PENDAHULUAN

Kebutuhan dan permintaan dalam kalibrasi resistor nominal tinggi baik untuk memenuhi kegiatan penelitian dan industri semakin meningkat, karena kebutuhan pengukuran yang tertelusur sangat diperlukan khususnya untuk perusahaan yang harus bersertifikasi (Gallian, 2009). Kemampuan untuk penentuan resistansi tinggi sangat penting untuk kalibrasi arus rendah bahkan di bawah 1 pA, seperti yang biasanya diminta dalam beberapa aplikasi, termasuk karakterisasi perangkat semikonduktor, transpor elektron tunggal, dan teknologi berkas ion atau dibutuhkan pada alat ukur yang digunakan untuk mengkarateristik isolasi elektrik dari material, meter konduktiviti-rendah atau electrometer (Yaiyendah dkk, 2018) (Yu dkk, 2020). Selain itu pengukuran resistansi tinggi dengan menggunakan teraohmmeter dapat digunakan untuk pengukuran pengaruh mikropartikel logam yang dicetak pada permukaan tekstil yang (Kreisel dkk, 2020). Sehingga untuk meningkatkan pengukuran yang lebih presisi untuk resistansi dengan nominal tinggi,serta untuk meningkat jaminan mutu hasil pengukuran dan menjamin rantai ketertelusuran maka di Laboratorium SNSU Kelistrikan dan Waktu yang bertugas untuk menjamin ketertelusuran atas nilai hasil kalibrasi. Untuk meningkatkan jaminan kemampuan pengukuran diperlukan metode serta analisa ketidakpastian. Salah satu cara adalah dengan melakukan karakteristik terhadap standar

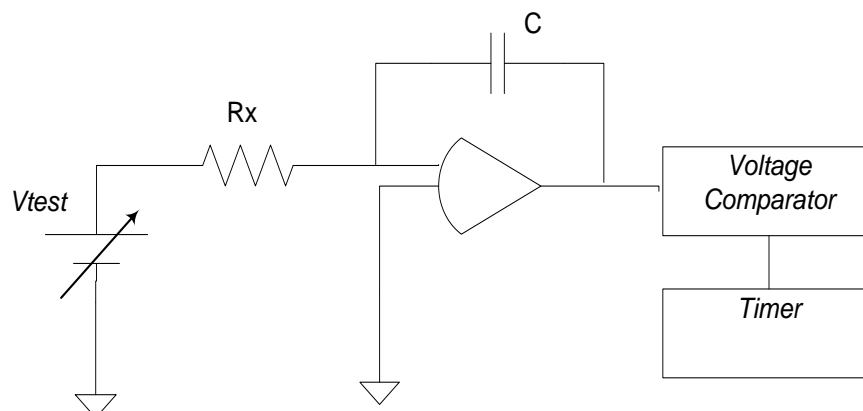
---

acuan yang digunakan yaitu terhadap pengaruh tegangan uji yang pada umumnya sebuah nilai resistansi akan berubah karena panas yang timbulkan dari perubahan tegangan yang diberikan akan sangat signifikan (Parks, 2016), terhadap stabilitas terhadap waktu (*drift*), pengaruh suhu dan terhadap ketidakpekaan yang meningkat terhadap kondisi lingkungan dan parameter pengukuran (Boella dkk, 2008). Tujuan dari paper ini adalah mengetahui pengaruh tegangan uji pada pengukuran resistansi nominal tinggi terhadap hasil pengukuran atau disebut sebagai koefisien tegangan resistansi, dimana jika pengukuran resistansi tinggi diberikan tegangan uji yang semakin tinggi maka kesalahan koefisien tegangan harus dipertimbangan sebagai sumber ketidakpastian dalam proses analisa hasil pengukuran resistor nominal tinggi, dimana resistansi tinggi ini akan digunakan untuk melakukan pengukuran arus rendah dalam order nA.

## METODE PENELITIAN

### 1. Sistem Pengukuran

Teraohmmeter merupakan salah satu instrumen yang menggunakan teknologi integrator analog untuk mengukur resistansi dengan bentuk rangkaian resistor-kapasitor dengan resistor yang diuji dimana terdapat standar fiks kapasitor pada internal teraohmmeter. Prinsip kerja dari teraohmmeter adalah menggunakan rangkaian RC dimana R adalah standar fiks resistor yang diuji dan C adalah kapasitor yang akan dialiri sumber DC yang ditunjukkan pada Gambar 1 .

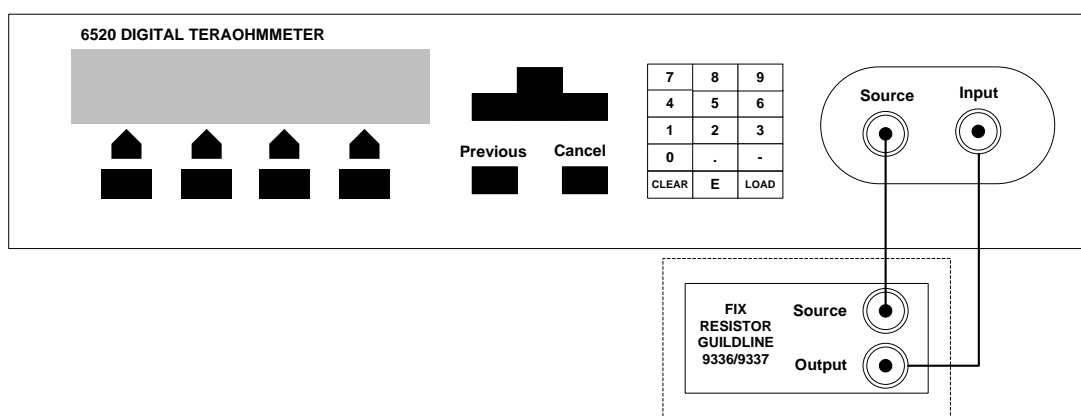


**Gambar 1.** Skematik Diagram Cara Kerja Teraohmmeter

Dimana dengan diketahui tegangan uji  $V_i$ , perubahan tegangan keluaran  $\Delta V_o$ , nilai kapasitansi C dan waktu yang digunakan  $\Delta t$ , maka sebuah nilai resistansi R dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 1.

$$R_x = - \left( \frac{1}{C} \right) \left( \frac{V_i}{\Delta V_o} \right) \Delta t \quad (1)$$

Skema sistem pengukuran karakteristik resistansi tinggi terhadap perubahan tegangan uji ini ditunjukkan pada Gambar 2. Dimana R adalah nominal resistor standar yang dikarakteristik atau disebut unit under test (UUT). Dalam sistem pengukuran ini menggunakan metode langsung, dimana R akan diukur menggunakan teraohmmeter yang telah terkalibrasi.



**Gambar 2.** Konfigurasi Pengukuran Standar Resistor dengan Menggunakan Teraohmmeter

Titik ukur yang digunakan adalah 1, 10, dan 100 Giga Ohm dengan berbagai macam variasi penyetelan kapasitansi, tegangan ambang dan tegangan uji. Variasi kapasitansi berada pada nominal 27 pF sampai dengan 2700 pF. Sedangkan tegangan ambang berada pada nominal 0,1 Volt sampai 1 Volt. Seluruh pengaturan dari kapasitansi, tegangan ambang dan tegangan batas mengacu pada *manual book* dari teraohm meter. Selanjutnya nominal dari tegangan uji bervariasi dari 1 Volt sampai 1000 Volt dimana variasi dari pengaturan kapasitansi, tegangan ambang dan tegangan uji dapat dilihat Tabel 1.

Sebelum melakukan pengukuran, teraohm meter dan tetap disusun dengan menggunakan konfigurasi pengkabelan 3 terminal sesuai dengan Gambar 2. Pengkabelan 3 terminal diperlukan untuk pengukuran resistansi tinggi mulai dari order Giga Ohm sampai dengan Penta Ohm dimana pada nominal resistansi tinggi arus yang diberikan oleh teraohmmeter bernilai kecil sehingga arus tersebut rentan hilang sebelum kembali ke teraohmmeter karena adanya kebocoran arus. Oleh karena itu diperlukan rangkaian pembagi arus yang stabil sehingga nilai yang kembali ke teraohmmeter sama dengan nilai arus yang diberikan oleh teraohmmeter (Yayindah dkk, 2018).

**Tabel 1.** Variasi Penyetelan Kapasitansi, Tegangan Ambang dan Tegangan Uji pada Nominal 1, 10 dan 100 GΩ

Nominal 1 GΩ			Nominal 10 GΩ			Nominal 100 GΩ		
Tegangan Uji (V)	Kapasitansi (pF)	Tegangan Ambang (V)	Tegangan Uji (V)	Kapasitansi (pF)	Tegangan Ambang (V)	Tegangan Uji (V)	Kapasitansi (pF)	Tegangan Ambang (V)
1	2700	1	1	2700	0,1	1	270	0,1
2	2700	1	2	2700	0,1	2	270	0,1
5	2700	10	5	2700	1	5	2700	0,1
10	2700	10	10	2700	1	10	2700	0,1
20	2700	10	20	2700	1	20	2700	0,1
50	2700	10	50	2700	10	50	2700	1
100	2700	10	100	2700	10	100	2700	1
200	2700	10	200	2700	10	200	2700	1
500	2700	10	500	2700	10	500	2700	10
1000	2700	10	1000	2700	10	1000	2700	10

Pada penelitian ini resistor yang digunakan dalam analisa pengaruh tegangan uji terhadap hasil pengukuran resistansi adalah standar resistor yang ditunjukkan pada tabel 1 dan saat melakukan pengukuran kondisi ruangan dijaga pada  $(23,0 \pm 2,0)$  °C. Jumlah sampel pengukuran yang diambil ditentukan dengan melakukan pengukuran pada 1 kali polaritas positif dan 1 kali polaritas negatif, setelah terpenuhi, maka pengukuran dapat dihentikan dan mencatat hasilnya sesuai dengan *resume* yang terdapat pada teraohm meter.

## 2. Koefisien Tegangan Resistor

Telah diketahui sejak lama bahwa resistansi resistor dapat berubah karena adanya perubahan tegangan yang diberikan, meskipun suhu dapat dipertahankan konstan. Koefisien tegangan resistansi dapat dinyatakan sebagai rasio perubahan resistansi dalam ohm dengan meningkatnya tegangan yang diberikan dalam volt pada saat suhu dipertahankan konstan. Definisi koefisien tegangan resistansi ini berguna untuk karakterisasi perubahan resistansi terhadap perubahan tegangan yang diberikan. Dan tentu saja, untuk semua bahan resistor pada umumnya nilai resistansi akan kembali ke semula jika tegangan yang diberikan dilepas (Bart, 2021).

Menurut spesifikasi dari standar 9336 resistor yang dikarakteristik ini, mampu menghasilkan tegangan yang jauh lebih tinggi daripada yang biasanya ditemukan pada instrumen umum yang digunakan dengan standar resistansi. Dalam kondisi seperti ini, koefisien tegangan pada 9336 harus digunakan atau dimasukkan dalam analisis ketidakpastian pengukuran (Guildline, 2017). Karakteristik resistor yang diukur terhadap tegangan uji yang berbeda dievaluasi dengan menggunakan metode kuadrat, sehingga perilaku nilai resistansi dari resistor yang diukur terhadap tegangan uji yang diberikan, merupakan fungsi dengan komponen linier plus kuadrat, dengan menggunakan persamaan 2:

$$R = a + bV + cV^2 \quad (2)$$

Dimana R adalah nilai resistansi hasil pengukuran yang diberikan tegangan uji yang berbeda-beda, b adalah koefisien bagian linear sedangkan c adalah bagian kuadrat yang merupakan ketidakpastian yang didapatkan dengan menggunakan pendekatan kuadratik menggunakan plotting data hasil

pengukuran terhadap perubahan tegangan uji (Boella dkk,2008) (Azzumar dkk, 2014).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan pada 3 buah resistor standar dengan nominal 1 G $\Omega$ , 10 G $\Omega$  dan 100 G $\Omega$ , hasil pengukuran standar resistor didapat dengan melakukan pengambilan data minimum, maksimum dan rerata dari jumlah data sample untuk setiap nominal standar resistor, jumlah pengambilan sample data ditentukan berdasarkan spesifikasi dari teraohmmeter dan dilakukan dengan cara memindahkan polaritas tegangan + dan polaritas tegangan – pada teraohmmeter. Pada setiap standar resistor tersebut diambil dengan memberikan 10 variasi tegangan dari 1 V sampai 1000 V yang telah diberikan pada fungsi teraohmmeter yang ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4. Selain itu pada tabel tersebut ditunjukkan nilai koreksi yang dinyatakan dalam ppm resistor standar 1 G $\Omega$ , 10 G $\Omega$  dan 100 G $\Omega$  yang diuji di tegangan arus 1 V sampai 1000 V dan dibandingkan dengan tegangan uji yang biasa dilakukan untuk mengukur dan mengkalibrasi resistor standar di Laboratorium SNSU Kelistrikan dan Waktu, yaitu sebesar 10 V untuk resistor 1 G $\Omega$ , 10 G $\Omega$  dan 100 V untuk 100 G $\Omega$ .

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Resistor 1 G $\Omega$

Tegangan Uji (V)	Minimum (V)	Maksimum (V)	Rata-Rata (V)	Koreksi (ppm)	Std_dev (ppm)	Sampel
1	0,9993672	1,0014017	1,00037565	1,00037565	983,98	16
2	0,9999287	1,0007437	1,00033698	1,00033698	400,98	16
5	1,0001464	1,0004024	1,00027242	1,00027242	122,2	16
10	1,0002094	1,0002806	1,00024487	1,00024487	28,19	16
20	1,0002016	1,0002138	1,00020821	1,00020821	3,43	16
50	1,0001243	1,0001708	1,00014855	1,00014855	14,96	32
100	1,0009357	1,0001406	1,00011714	1,00011714	17,79	32
200	1,0001535	1,0002156	1,00018829	1,00018829	22,6	68
500	1,0001038	1,0001761	1,00014281	1,00014281	25,84	100
1000	1,0000888	1,0001704	1,00013260	1,00013260	26,07	76

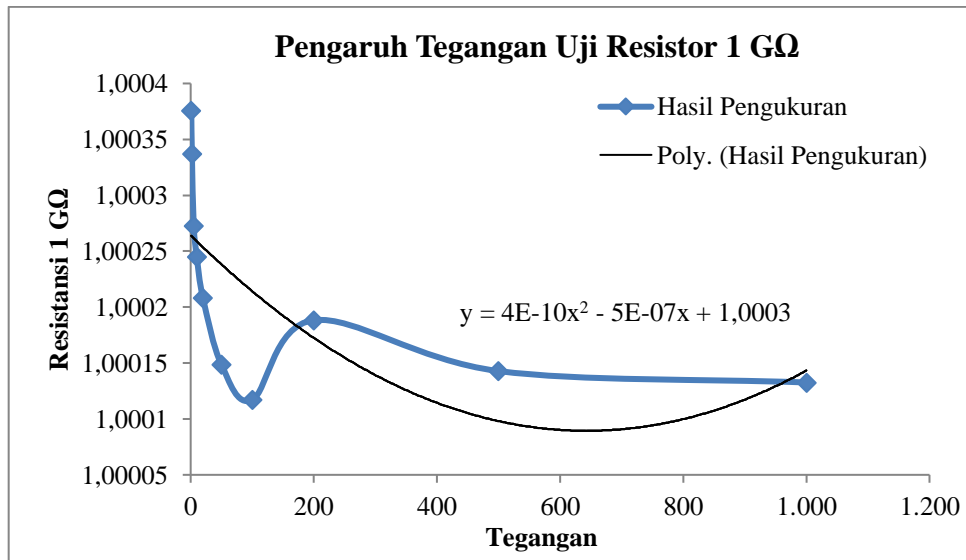
**Tabel 3.** Hasil Pengukuran Resistor 10 G $\Omega$

Tegangan Uji (V)	Minimum (V)	Maksimum (V)	Rata-Rata (V)	Koreksi (ppm)	Std_dev (ppm)	Sampel
1	9,9566222	10,0517017	10,0074359	10,0074359	4358,73	16
2	9,9883482	10,0265456	10,0075389	10,0075389	1837,85	16
5	10,0012284	10,0142517	10,0077946	10,0077946	631,66	16
10	10,0048348	10,0100522	10,0074359	10,0074359	254,18	16
20	10,0059292	10,0081939	10,0070597	10,0070597	100,57	16
50	10,0056323	10,0062930	10,0059430	10,0059430	27,83	16
100	10,0054835	10,0056644	10,0055935	10,0055935	4,44	16
200	10,0053025	10,0058327	10,0055630	10,0055630	17,16	16
500	10,0049419	10,0057582	10,0053534	10,0053534	25,84	32
1000	10,0049594	10,0058121	10,0053628	10,0053628	24,43	32

**Tabel 4.** Hasil Pengukuran Resistor 100 G $\Omega$

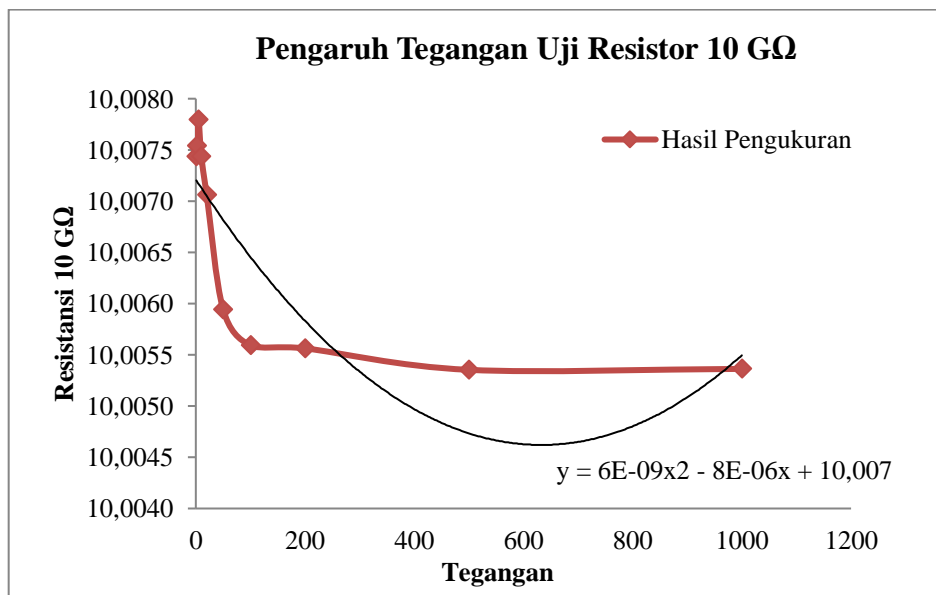
Tegangan Uji (V)	Minimum (V)	Maksimum (V)	Rata-Rata (V)	Koreksi (ppm)	Std_dev (ppm)	Sampel
1	98,844912	101,847909	100,233457	100,232957	13279,69	24
2	99,473926	101,111124	100,294213	100,293713	7618,13	24
5	99,790838	100,292734	100,030979	100,030479	2316,64	24
10	99,906596	100,173631	100,039546	100,039046	254,18	48
20	99,973448	100,082772	100,021188	100,020688	381,99	24
50	100,012151	100,045499	100,029808	100,029308	83,18	24
100	100,010397	100,043043	100,029586	100,029086	97,04	24
200	100,0019490	100,0286060	100,017691	100,017191	71,15	24
500	100,0115630	100,0206430	100,016900	100,016400	26,22	24
1000	99,9926736	99,9988210	99,9961284	99,995628	14,48	24

Dari masing-masing pengukuran didapatkan nilai rerata pengukuran yang kemudian dilakukan koreksi terhadap meter yang digunakan, hasil koreksi pengukuran tersebut akan diploting berupa grafik antara tegangan uji dan nilai resistansi tersebut dapat menunjukkan pengaruh tegangan uji terhadap nilai resistor yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 untuk masing-masing nominal standar resistor.



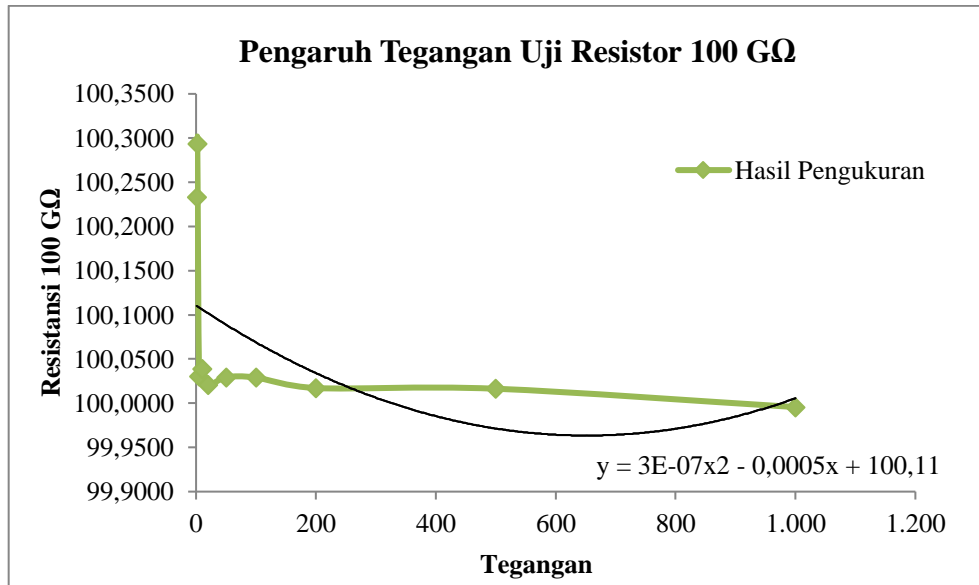
**Gambar 3.** Grafik Pengaruh Tegangan Uji terhadap Nilai Resistor 1 GΩ

Penyederhanaan karakterisasi pengaruh tegangan uji terhadap nilai resistor standar 1 GΩ, dilakukannya pendekatan polinomial order 2 (kuadratik), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 untuk resistor 10 GΩ. Pendekatan kuadratik memiliki nilai ketidakpastian yang ditentukan berdasarkan residu hasil ukur sesungguhnya dengan hasil *fitting* persamaan kuadratik yang diperoleh. Residu yang diperoleh dari pendekatan kuadratik didapatkan nilai ketidakpastian dari hasil pendekatan kuadratik merupakan standar deviasi yang nilainya adalah 0,0000000045 GΩ atau 0,0045 ppm dan nilai perubahan 1 GΩ akibat perubahan tegangan uji sebesar 0,0000000042 GΩ/V<sup>2</sup> dan -0,00000054 GΩ/V. Sedangkan pada nomilan resistor standar 10 GΩ menandakan besar perubahan nilai resistor standar 10 GΩ akibat pengaruh tegangan uji yang diberikan sebesar 0,000000006 GΩ/V<sup>2</sup> dan -0,0000081 GΩ/V dengan ketidakpastian baku sebesar  $1,2 \times 10^{-5}$  GΩ atau 1,2 ppm.



**Gambar 4.** Grafik Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistor 10 GΩ

Dari gambar 5 nomilan resistor standar 100 GΩ menandakan besar perubahan nilai resistor standar 100 GΩ akibat pengaruh tegangan uji yang diberikan sebesar 0,00000035 GΩ/V<sup>2</sup> dan -0,00045 GΩ/V dengan ketidakpastian baku sebesar  $4,5 \times 10^{-2}$  GΩ atau 449 ppm.



**Gambar 5.** Grafik Pengaruh Tegangan Uji Terhadap Nilai Resistor 100 GΩ

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, perubahan tegangan uji sebesar 1 V – 1000 V memberikan pengaruh ke resistor standar 1 GΩ sebesar  $0,0000000042 \text{ G}\Omega/\text{V}^2$  dan  $-0,00000054 \text{ G}\Omega/\text{V}$  ketidakpastian baku sebesar 0,0045 ppm, sedangkan sebesar  $0,000000006 \text{ G}\Omega/\text{V}^2$  dan  $-0,0000081 \text{ G}\Omega/\text{V}$  dengan ketidakpastian baku sebesar  $1,2 \times 10^{-5} \text{ G}\Omega$  atau 1,2 ppm memberi pengaruh terhadap nilai resistor standar 10 GΩ dan 100 GΩ sebesar  $0,00000035 \text{ G}\Omega/\text{V}^2$  dan  $-0,00045 \text{ G}\Omega/\text{V}$  dengan ketidakpastian baku sebesar  $4,5 \times 10^{-2} \text{ G}\Omega$  atau 449 ppm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan tegangan uji yang digunakan dalam pengukuran resistor standar 1 GΩ, 10 GΩ dan 100 GΩ perlu dimasukkan sebagai sumber ketidakpastian pengukuran dalam sebuah resistansi tinggi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada jajaran manajemen Pusat Riset dan Pengembangan SDM BSN dan Direktorat SNSU Termoelektrik dan Kimia serta Laboratorium Kelistrikan dan Waktu SNSU-BSN yang telah menyediakan saran dan prasarana untuk melaksanakan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azzumar, M & Faisal, A. (2014). Pengaruh Arus Terhadap Nilai Resistansi Dari Resistor Standar 1 mΩ, *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Standardisasi (PPIS)*, (hal 67-77). Badan Standardisasi Nasional.
- Barth Electronic Inc. *Voltage Coefficient Of Resistance Application Note*. Boulder City, Nevada. 11 - 2- 2021.  
[https://barthelectronics.com/pdf\\_files/Voltage%20Coefficient%20of%20Resistance.pdf](https://barthelectronics.com/pdf_files/Voltage%20Coefficient%20of%20Resistance.pdf)
- Boella, G & Galliana, F. (2008). Analysis of the voltage coefficient of high value standard resistors, *Measurement 42 ScienceDirect*, pp 1-9.
- Gallian, F, Capra P.P, & Gasparotto, E. (2009). Metrological management of the high dc resistance scale at INRIM, *Measurement 42 ScienceDirect*, pp 314-321.
- Guildline Instruments. (2017). *Model 9336 Series High Value Precision Resistance Standard Technical Manual*. Guildline Instruments. Kanada.
- Kreisel, T, Frobose, B, & Ehrmann A. (2020). Influence and stabilization of environmental conditions on teraohmmeter measurements of textile materials. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. Volume 15: 1–9. DOI: 10.1177/1558925020906568. [journals.sagepub.com/home/je](https://journals.sagepub.com/home/je). SAGE.
- Parks, V. H. (2016). A Buildup Method for Determining the Voltage Coefficient of High Voltage Resistors.(2016).*Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2016)*. IEEE DOI: 10.1109/CPEM.2016.7540800
- Yayiendah, N.F, Khairiyati, L, & Azzumar, M. (2018). Ujuk Kerja Kalibrasi Standar Fiks Resistor 100

DOI: <https://doi.org/10.34151/jurtek.v14i1.3545>

M $\Omega$ -1 P $\Omega$  dengan menggunakan Teraohmmeter, *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi (PPI KIM) Ke 44*, (hal 333-344). Pusat Penelitian Metrologi LIPI.  
Yu, K. M., Jarrett, D. G., Rigosi, A. F., Payagala, S. U., & Kraft, M. E. (2019). Comparison of Multiple Methods for Obtaining P $\Omega$  Resistances with Low Uncertainties. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, 69(6), 3729-3738.