

PENGARUH JUMLAH PENGULANGAN PENGUKURAN TERHADAP KETELITIAN DAN KEPRESISIAN MULTIMETER DIGITAL DALAM MENGUKUR TEGANGAN DAN ARUS PADA RESISTOR

Baddariah Khopipa Pulungan¹, Nezha Iriany², Khalisha Husna³,
Oktaria Magdalena⁴, Zahra Arjeti⁵, Habibi Azka Nasution^{6*}, Winsyahputra Ritonga⁷
^{1,2,3,4,5,6,7}Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Medan

¹ baddariah.4252121017@mhs.unimed.ac.id, ² hasibuannezha@gmail.com,
³ calisahusna@gmail.com, ⁴ oktariasihombing1310@gmail.com, ⁵ ar-jetizahra@gmail.com, ^{6*} habibiazka@unimed.ac.id, ⁷ winsyah@unimed.ac.id

ABSTRACT

This study aims to evaluate the extent to which variations in the number of measurement repetitions, namely $n=10$, $n=20$, and $n=30$, affect the accuracy and precision of the PHYWE 07122-00 digital multimeter (3½-digit DMM) in measuring voltage and current across three resistors: R_1 and R_2 (390 k Ω) and R_3 (10 k Ω). A quantitative experimental approach with a repeated measurement design was employed. Percentage error was used as an indicator of accuracy, while the coefficient of variation (CV) served as an indicator of precision. All data processing and visualization were carried out using the Python ecosystem, including NumPy, SciPy, Matplotlib, and Seaborn, producing heatmap-based visualizations. The findings reveal that voltage measurements yielded exceptionally high accuracy (% error < 0.10%) with stable precision (CV 0.33–0.54%) across all repetition levels. In contrast, current measurements on R_1 and R_2 showed lower accuracy, attributed to the extremely small current ($\sim 7.69 \mu\text{A}$) approaching the noise floor of the DMM's micro-ampere range rather than the number of repetitions per se. Overall, increasing the number of measurement repetitions did not consistently improve accuracy or precision, and the initial hypothesis was not confirmed.

Keywords: accuracy, precision, digital multimeter, measurement repetition, heatmap, Python

ABSTRAK

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana variasi jumlah pengulangan pengukuran, yakni $n=10$, $n=20$, dan $n=30$, berdampak pada tingkat ketelitian dan kepresisian multimeter digital PHYWE 07122-00 (3½ digit) dalam mengukur tegangan serta arus pada tiga buah resistor, yaitu R_1 dan R_2 (390 k Ω) serta R_3 (10 k Ω). Rancangan penelitian yang digunakan adalah *repeated measurement* dalam kerangka pendekatan kuantitatif eksperimental. Persentase kesalahan digunakan sebagai indikator ketelitian, sedangkan koefisien variasi (CV) digunakan sebagai indikator kepresisian. Seluruh proses pengolahan dan visualisasi data dikerjakan dengan memanfaatkan ekosistem Python, mencakup pustaka NumPy, SciPy, Matplotlib, dan Seaborn, yang menghasilkan visualisasi berupa *heatmap*. Temuan penelitian mengungkapkan bahwa pengukuran tegangan menghasilkan ketelitian yang sangat tinggi (% error < 0,10%) dengan kepresisian yang stabil (CV 0,33–0,54%) pada seluruh variasi pengulangan. Sebaliknya, pengukuran arus pada R_1 dan R_2 menunjukkan ketelitian yang lebih rendah akibat arus yang dihasilkan

(~7,69 μA) mendekati batas bawah resolusi rentang mikroamperemeter DMM 3½ digit. Secara keseluruhan, penambahan jumlah pengulangan tidak memberikan peningkatan ketelitian dan kepresisian yang konsisten, sehingga hipotesis awal penelitian tidak dapat dikonfirmasi.

Kata Kunci: ketelitian, kepresisian, multimeter digital, pengulangan pengukuran, heatmap, Python

A. Pendahuluan

Dalam eksperimen fisika dan teknik elektronika, pengukuran besaran listrik seperti tegangan dan arus menjadi aktivitas inti yang sangat menentukan validitas hasil eksperimen. Dua parameter yang lazim dijadikan tolok ukur kualitas pengukuran adalah ketelitian (*accuracy*) dan kepresisian (*precision*). Ketelitian merujuk pada tingkat kedekatan antara hasil pengukuran dengan nilai acuan yang sesungguhnya, sedangkan kepresisian menggambarkan sejauh mana hasil pengukuran yang dilakukan secara berulang menghasilkan nilai yang konsisten satu sama lain (Patel, 2022). Dalam konteks ini, Theodorsson (2025) menekankan bahwa penggunaan ukuran statistik yang sesuai, terutama nilai rata-rata dan standar deviasi, merupakan syarat mutlak agar hasil pengukuran dapat dilaporkan dan diinterpretasikan dengan tepat. Sanchez (2023) mengidentifikasi bahwa tidak sedikit mahasiswa yang ke-

liru dalam menerapkan statistik deskriptif untuk melaporkan hasil percobaan di laboratorium, sehingga penguasaan konsep ketelitian dan kepresisian perlu ditanamkan secara eksplisit sejak awal masa studi. Lebih jauh, (Sanchez, 2024) menegaskan perlunya mengintegrasikan analisis ketidakpastian secara langsung ke dalam kegiatan praktikum, mengingat setiap hasil pengukuran tidak dapat terlepas dari sumber ketidakpastian yang berasal dari faktor instrumen maupun prosedur yang diterapkan.

Pada setiap kegiatan pengukuran di laboratorium, keberadaan kesalahan merupakan hal yang tidak dapat dihindari sepenuhnya. Kesalahan yang bersifat acak ditandai oleh ketidakteraturannya dan tidak dapat diprediksi pada setiap pengukuran tunggal, namun dampaknya dapat diminimalkan melalui pelaksanaan pengukuran secara berulang. Dari sudut pandang statistik, nilai rata-rata yang diperoleh dari serangkaian pengukuran berulang akan semakin mendekati

nilai sesungguhnya, sementara ketidakpastiannya berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah data yang dikumpulkan (Montgomery & Runger, 2014). Patel (2022) membuktikan secara empiris bahwa praktikan yang menerima umpan balik setelah percobaan awal mampu meningkatkan ketelitian dan kepresisian data mereka pada percobaan berikutnya secara signifikan. Meskipun demikian, dalam kenyataan di lapangan, para mahasiswa kerap tidak memiliki pedoman yang konkret mengenai jumlah pengulangan yang sebaiknya dilakukan demi menghasilkan data yang reliabel dan efisien sekaligus (Sanchez, 2023).

Sebagai instrumen yang paling banyak digunakan di laboratorium untuk mengukur besaran listrik, multimeter digital memiliki peran sentral dalam berbagai kegiatan eksperimen. Ketika digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada resistor, prinsip kerja multimeter digital berkaitan erat dengan Hukum Ohm ($V = IR$), di mana nilai arus teoritis diperoleh dari pembagian tegangan sumber dengan nilai hambatan resistor dan dijadikan acuan dalam mengevaluasi ketelitian pengukuran. Rahman & Johari (2022)

menemukan bahwa pengalaman mahasiswa dalam menggunakan alat ukur secara langsung (*hands-on*) menghasilkan pemahaman dan keterampilan yang lebih baik dibandingkan pembelajaran berbasis simulasi semata, khususnya dalam hal penguasaan teknis pengoperasian instrumen. Sejalan dengan itu, Hartanto et al (2023) menunjukkan bahwa kegiatan praktikum yang melibatkan pengukuran langsung pada rangkaian arus searah terbukti efektif dalam mengembangkan keterampilan proses sains mahasiswa, yang meliputi kemampuan mengamati, melakukan pengukuran, serta mengolah dan menginterpretasikan data secara ilmiah.

Kemajuan dalam ekosistem komputasi ilmiah berbasis Python telah membawa perubahan signifikan dalam praktik analisis dan visualisasi data eksperimen. Harris et al (2020) memaparkan bahwa NumPy berperan sebagai tulang punggung komputasi array dalam *pipeline* analisis data ilmiah di berbagai disiplin, termasuk fisika dan rekayasa teknik. Virtanen et al (2020) menjelaskan bahwa SciPy memperluas kemampuan NumPy dengan menyediakan kumpulan algo-

ritma statistik dan ilmiah yang komprehensif, mencakup perhitungan rata-rata, standar deviasi, hingga pengujian distribusi data, yang semuanya relevan dalam pengolahan data pengukuran berulang. Di sisi visualisasi, Hunter (2007) menghadirkan Matplotlib sebagai pustaka grafis dua dimensi yang fleksibel dan mampu menghasilkan berbagai bentuk grafik berstandar publikasi. Sementara itu, Waskom (2021) mengembangkan Seaborn sebagai lapisan antarmuka tingkat tinggi di atas Matplotlib yang dirancang khusus untuk keperluan visualisasi statistik, termasuk *heatmap* yang memanfaatkan gradasi warna untuk merepresentasikan kekuatan hubungan antara dua variabel secara sekaligus, sehingga pola tren dalam data dapat diidentifikasi dengan lebih mudah dan intuitif.

Kajian-kajian terdahulu terkait analisis ketidakpastian dan statistik deskriptif di laboratorium umumnya masih memfokuskan pembahasan pada satu parameter kualitas pengukuran saja, entah ketelitian atau kepresisian, tanpa mengkajinya secara bersamaan dalam satu konteks eksperimen yang utuh. Terlebih lagi, belum tersedia rujukan empiris yang memadai mengenai berapa jumlah

pengulangan yang dianggap optimal untuk praktikum fisika dasar, khususnya pada pengukuran tegangan dan arus dengan multimeter digital. Berangkat dari kesenjangan tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengkaji secara simultan pengaruh variasi jumlah pengulangan pengukuran (10, 20, dan 30 kali) terhadap ketelitian dan kepresisian multimeter digital dalam mengukur tegangan dan arus pada resistor. Kontribusi kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan analisis yang mengintegrasikan kedua parameter kualitas pengukuran sekaligus dengan memanfaatkan visualisasi *heatmap* berbasis Python pada eksperimen kelistrikan sederhana di laboratorium fisika dasar.

Mengacu pada landasan teoritis yang telah diuraikan, penelitian ini merumuskan hipotesis bahwa peningkatan jumlah pengulangan pengukuran akan diikuti oleh penurunan persentase kesalahan dan koefisien variasi, yang pada gilirannya mencerminkan peningkatan ketelitian dan kepresisian multimeter digital dalam mengukur tegangan maupun arus pada resistor.

B. Metode Penelitian

Studi ini dirancang dengan menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis eksperimen, dengan menerapkan desain *repeated measurement* guna mengevaluasi dampak variasi jumlah pengulangan terhadap ketelitian (*accuracy*) dan kepresisian (*precision*) data yang dihasilkan oleh multimeter digital.

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah PHYWE Digital Multimeter tipe 07122-00 (PHYWE Systeme GmbH & Co. KG, Jerman), sebuah DMM *hand-held* berformat 3½ digit dengan tampilan LCD 38 mm yang mampu menampilkan nilai maksimum 1999 cacah (*counts*). Spesifikasi teknis yang relevan meliputi: rentang pengukuran tegangan DC 0–200 mV hingga 0–600 V; rentang arus AC/DC 0–0,2 mA hingga 0–10 A; impedansi masukan 10 MΩ; akurasi dasar $\pm(0,5\% + 2 \text{ digit})$ untuk tegangan DC; serta perlindungan beban lebih menggunakan dioda dan sekering halus 0,2 A dan 20 A (Sawhney, 2012). Sumber tegangan DC stabil dengan keluaran $\pm 3,00 \text{ V}$ digunakan sebagai catu daya rangkaian, sementara tiga buah resistor karbon yang diukur adalah R1 dan R2 (390 kΩ, toleransi $\pm 5\%$) serta R3 (10 kΩ, toleransi $\pm 5\%$). Komponen

pendukung berupa breadboard dan kabel penghubung digunakan untuk merakit rangkaian.

Masing-masing resistor dihubungkan secara individual ke sumber tegangan DC. Dalam proses pengukuran, multimeter difungsikan dalam dua mode berbeda, yakni sebagai voltmeter yang terhubung secara paralel dengan resistor untuk mengukur tegangan, dan sebagai amperemeter yang terhubung secara seri untuk mengukur arus. Pada setiap resistor dilakukan pengukuran berulang sebanyak 30 kali dengan menjaga seluruh kondisi eksperimen tetap konstan, meliputi temperatur ruangan, stabilitas sumber tegangan, posisi rangkaian, serta jeda waktu antarpengukuran. Pelaksanaan pengukuran secara berulang dimaksudkan untuk menekan pengaruh kesalahan acak dan memperkuat kestabilan data yang diperoleh (Taylor, 1997). Setiap nilai yang terbaca pada layar multimeter dicatat secara langsung untuk menghindari bias dalam proses perekaman data.

Jumlah pengulangan pengukuran ditetapkan sebagai variabel bebas dengan tiga level, yaitu 10, 20, dan 30 kali. Adapun variabel terikat mencakup tingkat ketelitian (*accuracy*)

dan kepresisian (*precision*) dari hasil pengukuran. Variabel-variabel yang dikontrol meliputi tipe multimeter yang digunakan, nilai nominal resistor, besaran tegangan sumber, serta kondisi lingkungan selama eksperimen berlangsung.

Setelah dikelompokkan berdasarkan jumlah pengulangan, data pengukuran dianalisis secara statistik dengan menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, dan persentase kesalahan relatif. Nilai rata-rata menjadi acuan utama dalam menilai tingkat ketelitian terhadap nilai teoritis, sementara standar deviasi beserta koefisien variasi (CV) dimanfaatkan untuk mengukur tingkat konsistensi dan kepresisian data.

Ketelitian hasil pengukuran di-kuantifikasi menggunakan persentase kesalahan relatif terhadap nilai teoritis yang dihitung berdasarkan prinsip Hukum Ohm. Apabila x_{meas} menyatakan nilai hasil pengukuran dan x_{teo}^R menyatakan nilai teoritis, maka persentase kesalahan dinyatakan sebagai:

$$\text{Error}(\%) = \left| \frac{x_{\text{eksperimen}} - x_{\text{teori}}}{x_{\text{teori}}} \right| \times 100\%$$

Kepresisian diquantifikasi melalui standar deviasi (s) dan koefisien variasi (CV). Dengan x_i sebagai nilai pengukuran ke- i , $\bar{x}$ sebagai rata-rata, dan n sebagai jumlah pengulangan, rumus yang digunakan adalah:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

dan

$$\text{CV}\% = \left(\frac{s}{\bar{x}} \right) \times 100\%$$

Seluruh proses pengolahan data dilaksanakan menggunakan Python, yang telah diakui keandalannya sebagai platform analisis data ilmiah (Harris et al., 2020). Fungsi-fungsi statistik seperti rata-rata, standar deviasi, dan koefisien variasi dihitung menggunakan pustaka SciPy (Virtanen et al., 2020). Hasil perhitungan selanjutnya ditampilkan secara grafis menggunakan Matplotlib (Hunter, 2007) sebagai pustaka visualisasi utama. Khususnya, penyajian data dalam bentuk *heatmap* dilakukan menggunakan Seaborn guna mengungkapkan pola hubungan antara jumlah pengulangan dengan parameter kualitas pengukuran secara lebih mudah dipahami (Waskom, 2021).

Pendekatan visualisasi ini dipilih karena dinilai efektif dalam membantu pembaca memahami pola perubahan data secara komprehensif (Gu, 2022).

Seluruh data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan memerhatikan perubahan nilai ketelitian dan kepresisian pada tiap-tiap level jumlah pengulangan. Dari pola perubahan tersebut dapat diidentifikasi level pengulangan yang menghasilkan data pengukuran paling stabil dan paling konsisten.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Data yang digunakan dalam analisis ini diperoleh dari 30 kali pengukuran berulang pada setiap resistor, yaitu R1 (390 k Ω), R2 (390 k Ω), dan R3 (10 k Ω), dengan tegangan sumber yang dijaga konstan pada 3 V sepanjang proses pengukuran. Besaran yang diamati mencakup nilai tegangan (V) dan arus (I) pada masing-masing resistor. Keseluruhan data mentah hasil pengukuran terangkum dalam Tabel 1 dan menjadi dasar bagi analisis berikutnya.

Tabel 1. Data pengukuran tegangan dan arus (30 pengulangan) untuk R1, R2 (390 k Ω) dan R3 (10 k Ω)

No	R1 (390 k Ω)		R2 (390 k Ω)		R3 (10 k Ω)	
	V (V)	I (μ A)	V (V)	I (μ A)	V (V)	I (μ A)

1	3.01	7.69	2.99	7.82	3.01	300
2	2.99	7.81	3.01	7.64	2.99	300
3	3.00	7.74	3.00	7.71	3.00	300
4	2.98	7.92	3.02	7.55	2.98	290
5	3.02	7.58	2.98	7.94	3.02	310
6	2.99	7.85	3.00	7.72	2.99	300
7	3.01	7.62	3.01	7.66	3.01	300
8	2.98	7.95	2.99	7.85	2.98	290
9	3.00	7.71	3.02	7.52	3.00	300
10	3.02	7.54	2.98	7.96	3.02	310
11	2.99	7.83	3.01	7.61	2.99	300
12	3.01	7.65	3.00	7.74	3.01	300
13	2.98	7.98	2.99	7.88	2.98	290
14	3.00	7.77	3.02	7.56	3.00	300
15	2.97	8.05	2.97	8.02	2.97	290
16	3.02	7.51	3.01	7.63	3.02	310
17	2.99	7.86	2.99	7.84	2.99	300
18	3.01	7.67	3.01	7.69	3.01	300
19	2.98	7.94	2.98	7.91	2.98	290
20	3.00	7.72	3.00	7.75	3.00	300
21	2.97	8.07	2.97	8.06	2.97	290
22	3.02	7.53	3.02	7.58	3.02	310
23	2.99	7.84	2.99	7.87	2.99	300
24	3.01	7.66	3.01	7.62	3.01	300
25	2.98	7.97	2.98	7.93	2.98	290
26	3.00	7.73	3.00	7.76	3.00	300
27	2.97	8.30	2.97	8.09	2.97	290
28	3.02	7.57	3.02	7.54	3.02	310
29	2.99	7.89	2.99	7.81	2.99	300
30	3.01	7.64	3.01	7.68	3.01	300

Guna mengevaluasi kualitas pengukuran secara kuantitatif, setiap kelompok data dianalisis menggunakan tiga parameter statistik, yaitu persentase kesalahan sebagai ukuran ketelitian, serta standar deviasi dan koefisien variasi sebagai ukuran kepresisian. Nilai acuan teoritis untuk pengukuran arus ditetapkan berdasarkan Hukum Ohm dengan mempertimbangkan tegangan sumber sebesar 3 V dan nilai nominal masing-masing resistor. Rangkuman hasil analisis statistik disajikan secara lengkap pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Statistik Pengukuran

R	Besaran	n	(%) Er-ror	CV (%)	SD
R1	Tegan-gan	10	0.00	0.33	0.01
R1	Tegan-gan	20	0.08	0.51	0.02
R1	Tegan-gan	30	0.10	0.54	0.02
R1	Arus	10	0.58	1.81	0.14
R1	Arus	20	1.00	1.97	0.15
R1	Arus	30	1.22	2.34	0.18
R2	Tegan-gan	10	0.00	0.50	0.01
R2	Tegan-gan	20	0.03	0.49	0.01
R2	Tegan-gan	30	0.07	0.54	0.02
R2	Arus	10	0.58	1.97	0.15
R2	Arus	20	0.75	1.87	0.15
R2	Arus	30	0.94	2.08	0.16
R3	Tegan-gan	10	0.00	0.50	0.01
R3	Tegan-gan	20	0.08	0.51	0.02
R3	Tegan-gan	30	0.10	0.54	0.02
R3	Arus	10	0.00	1.90	0.01
R3	Arus	20	0.33	2.13	0.01
R3	Arus	30	0.33	2.14	0.01



[Gambar 1 Heatmap Akurasi & Presisi Multimeter Digital]

Keterangan: Gradasi warna pada heatmap mencerminkan besar kecilnya nilai persentase kesalahan (% Error) dan koefisien variasi (CV %). Sel berwarna kuning pucat menandakan nilai yang kecil, yang bermakna ketelitian dan kepresisian tinggi. Sel berwarna oranye mencerminkan nilai sedang, sedangkan sel berwarna merah tua menandakan nilai yang besar, yang bermakna ketelitian dan kepresisian rendah. Skala warna dibuat seragam antara heatmap tegangan dan arus agar kedua jenis pengukuran dapat dibandingkan secara proporsional dan adil.

Tinjauan menyeluruh terhadap Tabel 2 mengungkapkan adanya perbedaan yang cukup mencolok antara kualitas pengukuran tegangan dan arus. Nilai persentase kesalahan maupun CV pada pengukuran tegangan secara konsisten jauh lebih kecil dibandingkan pengukuran arus di semua level pengulangan. Pola ini mengindikasikan bahwa multimeter digital menunjukkan performa yang lebih unggul dalam pengukuran tegangan dibandingkan arus, terutama pada

Ketelitian Pengukuran Tegangan

Data pada Tabel 2 dan Gambar 1 secara bersama-sama menunjukkan bahwa ketelitian pengukuran tegangan tergolong sangat baik pada semua resistor dan semua variasi pengulangan. Nilai persentase kesalahan R1 bergerak dari 0,0000% (n=10) menuju 0,1000% (n=30), R2 dari 0,0000% menjadi 0,0700%, dan R3 dari 0,0000% menjadi 0,1000%. Semua nilai ini berada jauh di bawah ambang 0,10% sehingga dapat diabaikan dalam konteks praktis. Nilai

0,0000% yang tercatat pada seluruh resistor di $n=10$ perlu dipahami dalam konteks resolusi instrumen: sebagai DMM $3\frac{1}{2}$ digit dengan resolusi tampilan dua angka desimal pada rentang tegangan yang digunakan, simpangan yang ada berada di bawah ambang resolusi tampilan sehingga terbaca nol setelah pembulatan empat desimal. Hal ini bukan berarti pengukuran bebas dari *noise* acak sepenuhnya, melainkan mencerminkan bahwa fluktuasi yang terjadi berada di bawah kemampuan resolusi instrumen untuk mendeteksinya. Warna kuning pucat yang mendominasi seluruh sel *heatmap* tegangan secara visual menegaskan bahwa pengaruh penambahan pengukuran terhadap ketelitian tegangan praktis tidak berarti dalam rentang yang diuji.

Ketelitian Pengukuran Arus

Berbeda dengan tegangan, pengukuran arus memperlihatkan variasi persentase kesalahan yang lebih besar. Pada R1, nilai error meningkat dari 0,5800% ($n=10$) menjadi 1,2200% ($n=30$); pada R2 dari 0,5800% menjadi 0,9400%; sementara R3 mencatat ketelitian

terbaik dengan error 0,0000% pada $n=10$ yang hanya naik menjadi 0,3300% pada $n=30$. Perbedaan performa ini tidak semata-mata disebabkan oleh nilai hambatan resistor, melainkan berkaitan langsung dengan keterbatasan resolusi instrumen pada rentang pengukuran arus skala mikro. Berdasarkan Hukum Ohm, arus yang mengalir melalui R1 dan R2 dengan tegangan 3 V hanya sekitar 7,69 μA sebuah nilai yang mendekati *noise floor* dari rentang mikroamperemeter pada DMM $3\frac{1}{2}$ digit seperti PHYWE 07122-00. Pada rentang pengukuran arus sekecil ini, setiap fluktuasi kecil pada sumber tegangan maupun sambungan kabel terbaca sebagai variasi yang secara proporsional besar terhadap nilai arus itu sendiri, sehingga menyebabkan akumulasi ketidakpastian yang tercermin dari warna merah tua yang semakin pekat pada sel R1 di *heatmap*. Sebaliknya, R3 (10 k Ω) menghasilkan arus sebesar 300 μA yang jauh lebih mudah dibaca secara stabil oleh DMM. Selain itu, hambatan internal (*burden voltage*) dari amperemeter yang terpasang seri turut memperkenalkan ketidakpastian tambahan yang lebih terasa pada pengukuran arus berskala sangat kecil (Sawhney, 2012). Dengan demikian,

penyebab utama tingginya error pada R1 dan R2 adalah keterbatasan resolusi instrumen dan efek *burden voltage*, bukan jumlah pengulangan pengukuran itu sendiri.

Kepresisian Pengukuran Tegangan

Analisis kepresisian pengukuran tegangan menghasilkan nilai CV yang sangat kecil dan relatif seragam, berkisar antara 0,33% hingga 0,54% pada seluruh kombinasi resistor dan jumlah pengulangan. Nilai CV terendah tercatat pada R1 dengan $n=10$ (0,3300%), sementara pada $n=30$ semua resistor mengkonvergensi pada nilai CV yang identik (0,5400%). Secara fisis, kestabilan CV ini mencerminkan bahwa tegangan yang terukur oleh DMM berada jauh di atas ambang *noise floor* instrumen impedansi masukan voltmeter yang sangat tinggi ($10\text{ M}\Omega$) menjadikan pengukuran tegangan tidak terganggu oleh arus beban yang signifikan. Warna kuning pucat yang seragam pada seluruh sel *heatmap* kepresisian tegangan mencerminkan kondisi ini. Hasil ini selaras dengan pernyataan Montgomery & Runger (2014) bahwa pada kondisi pengukuran yang terken-

dali dengan baik, variabilitas data cenderung terjaga pada tingkat yang rendah.

Kepresisian Pengukuran Arus

Pengukuran arus menampilkan nilai CV yang jauh lebih tinggi dibandingkan tegangan, berkisar antara 1,81% hingga 2,34%, atau sekitar empat kali lipat CV pengukuran tegangan. Secara fisis, tingginya CV pada pengukuran arus R1 dan R2 disebabkan oleh fakta bahwa arus $\sim 7,69\text{ }\mu\text{A}$ berada sangat dekat dengan batas bawah resolusi rentang mikroamperemeter DMM $3\frac{1}{2}$ digit. Pada kondisi ini, *noise* elektronik instrumen dan fluktuasi sumber tegangan menghasilkan variasi pembacaan yang secara relatif besar terhadap nilai arus, sehingga standar deviasi sampel (s) dan CV menjadi tinggi. R1 pada $n=30$ mencatat CV tertinggi (2,3400%) yang tercermin dari sel merah tua paling pekat dalam *heatmap*, sedangkan R2 pada $n=20$ memiliki CV terendah (1,8700%). Tidak ditemukannya pola penurunan CV yang sistematis mengindikasikan bahwa memperbanyak pengulangan tidak secara efektif mengatasi sumber utama variabilitas, yaitu keterbatasan

resolusi instrumen pada pengukuran arus berskala mikro (Taylor, 1997).

Perbandingan Tegangan dan Arus

Dengan skala warna yang disebarkan, keempat panel *heatmap* secara kolektif memberikan gambaran yang jelas mengenai perbedaan performa multimeter digital antara pengukuran tegangan dan arus. Panel tegangan didominasi warna kuning pucat (nilai kecil = kualitas tinggi), sedangkan panel arus menampilkan warna oranye hingga merah tua. Kontras visual ini mencerminkan perbedaan kondisi fisis yang mendasar: pengukuran tegangan dilakukan dalam kondisi impedansi tinggi yang tidak membebani rangkaian, sementara pengukuran arus pada resistansi sangat tinggi menghasilkan nilai yang mendekati batas resolusi instrumen. Rahman & Johari (2022) menyatakan bahwa konfigurasi rangkaian dan sifat komponen yang digunakan secara inheren memengaruhi seberapa akurat dan presisi suatu instrumen digital dapat bekerja.

Kesesuaian dengan Hipotesis

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini tidak mendukung hipotesis yang telah dirumuskan. Penambahan

jumlah pengulangan dari $n=10$ ke $n=30$ tidak menghasilkan peningkatan yang konsisten pada ketelitian maupun kepresisian, baik untuk pengukuran tegangan maupun arus. Pada pengukuran arus R1 dan R2, peningkatan pengulangan justru diikuti oleh kenaikan persentase kesalahan. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor penentu kualitas data yang lebih dominan adalah spesifikasi dan keterbatasan resolusi instrumen khususnya *noise floor* DMM 3½ digit pada rentang mikroamperemeter bukan jumlah pengulangan itu sendiri. Patel (2022) mengingatkan bahwa kualitas data laboratorium tidak semata-mata bergantung pada banyaknya pengulangan, melainkan juga sangat dipengaruhi oleh kecermatan prosedur dan spesifikasi instrumen yang digunakan.

D. Kesimpulan

Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi jumlah pengulangan pengukuran ($n=10$, $n=20$, dan $n=30$) terhadap ketelitian dan kepresisian PHYWE Digital Multimeter 07122-00 (DMM 3½ digit) pada tiga resistor R1 dan R2 (390 kΩ) serta R3 (10 kΩ). Hasil analisis menunjukkan bahwa pen-

gukuran tegangan menghasilkan ketelitian yang sangat tinggi dengan persentase kesalahan tidak melampaui 0,10% pada semua kondisi, serta kepresisian yang stabil dengan CV antara 0,33% hingga 0,54%. Variasi jumlah pengulangan tidak memberikan dampak yang berarti terhadap kedua parameter ini, yang secara fisis disebabkan oleh impedansi masukan voltmeter yang tinggi ($10\text{ M}\Omega$) sehingga tidak membebani rangkaian dan menghasilkan pembacaan yang stabil.

Pengukuran arus pada R1 dan R2 menunjukkan ketelitian yang lebih rendah dengan persentase kesalahan yang cenderung meningkat seiring bertambahnya pengulangan. Secara fisis, hal ini disebabkan oleh arus yang sangat kecil ($\sim 7,69\text{ }\mu\text{A}$) yang mendekati batas bawah resolusi rentang mikroamperemeter DMM $3\frac{1}{2}$ digit, sehingga fluktuasi kecil pada sumber tegangan dan efek *burden voltage* amperemeter memberikan dampak yang secara relatif besar. Kepresisian pengukuran arus juga lebih rendah dengan CV antara 1,81% hingga 2,34% tanpa pola perbaikan yang konsisten seiring penambahan pengulangan.

Secara keseluruhan, hipotesis yang menyatakan bahwa penambahan jumlah pengulangan akan meningkatkan ketelitian dan kepresisian secara proporsional tidak terkonfirmasi. Spesifikasi instrumen terutama jumlah digit dan *noise floor* pada rentang pengukuran yang digunakan terbukti menjadi faktor yang lebih dominan dalam menentukan kualitas data dibandingkan jumlah pengulangan itu sendiri. Oleh karena itu, dalam praktikum fisika dasar, penentuan jumlah pengulangan sebaiknya mempertimbangkan jenis besaran yang diukur, karakteristik komponen, dan spesifikasi instrumen. Untuk pengukuran arus pada resistor berhambatan sangat tinggi, peningkatan kualitas lebih efektif dicapai melalui pemilihan instrumen dengan resolusi lebih tinggi (DMM $4\frac{1}{2}$ digit atau lebih), perbaikan stabilitas sumber tegangan, dan kalibrasi instrumen, dibandingkan sekadar memperbanyak pengulangan.

Kesimpulan akhir yang diperoleh dalam penelitian dan saran perbaikan yang dianggap perlu ataupun penelitian lanjutan yang relevan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gu, Z. (2022). Complex heatmap visualization. *IMeta*, 1(3), 1–15. <https://doi.org/10.1002/imt2.43>
- Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., ... Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Hartanto*, T. J., Dinata, P. A. C., Azizah, N., Qadariah, A., & Pratama, A. (2023). Students' Science Process Skills and Understanding on Ohm's Law and Direct Current Circuit Through Virtual Laboratory Based Predict-Observe-Explain Model. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 11(1), 113–128. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v11i1.27477>
- Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D Graphics Environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(3), 90–95. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (6th ed.). Wiley.
- Patel, B. A. (2022). A Chemical Analysis Laboratory Class Solely Assessed on the Accuracy and Precision of Student Data. *Journal of Chemical Education*, 99(10), 3585–3589. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00583>
- Rahman, I., & Johari, M. (2022). Students' understanding and skills on voltage and current measurements using hands-on laboratory and simulation software. *Education and Information Technologies*, 27, 6393–6406. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10850-6>
- Sanchez, J. M. (2023). The Need to Reinforce the Teaching of Basic Descriptive Statistics Required in Reporting Quantitative Laboratory Results: Diagnose of Common Students' Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 100(7), 2713–2718. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00394>
- Sanchez, J. M. (2024). Integrating Measurement Uncertainty Analysis into Laboratory Education for the Development of Critical Thinking and Practical Skills. *Journal of Chemical Education*, 101(11), 4783–4789. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00583>
- Sawhney, A. K. (2012). *A Course in Electrical and Electronic Measurements and Instrumentation* (1st ed.). Dhanpat Rai & Co.
- Taylor, J. R. (1997). *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements* (2nd ed.). University Science Books.
- Theodorsson, E. (2025). Understanding and expressing variation in measurement results. *Journal of Laboratory and Precision Medicine*, 10. <https://doi.org/10.21037/jlpm-24-53>
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S. J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E., Kern, R., Larson, E., ...

- Vázquez-Baeza, Y. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
- Waskom, M. (2021). Seaborn: Statistical Data Visualization. *Journal of Open Source Software*, 6(60), 3021. <https://doi.org/10.21105/joss.03021>