

Studi EasyEDA sebagai Alternatif Simulator Rangkaian Listrik: Pengujian pada Rangkaian Mesh dan Pembuktiannya dengan Eksperimen Aktual

Syifaul Fuada^{1*}, Abelia Naja Salma Kalisa¹, Hasyiyati Shabrina¹, Yunita Sari¹, Naura Athaya Tsabita¹, Muhamad Dzikri Danuaru¹, Anindya Afina Carmelya¹, Subairi²

¹Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

²Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia

*syifaulfuada@upi.edu¹

Kata Kunci :

EasyEDA, Loop, Rangkaian Mesh

ABSTRAK

Simulator berperan penting untuk mendukung pembelajaran di perguruan tinggi, khususnya yang berkaitan dengan teknologi, sehingga dapat mempermudah untuk menyelesaikan persoalan dengan resiko kerusakan alat yang minim. EasyEDA merupakan salah satu simulator rangkaian listrik yang cukup populer, mudah diakses di Internet, dan gratis. Keunggulan yang ditawarkan yaitu mampu menyimpan file pengguna di server sehingga apabila ingin meneruskan proyek yang sudah dibuat, dapat dilanjutkan kembali di device lain sekiranya masih terkoneksi dengan internet. Akan tetapi masih belum banyak studi yang mengeksplorasinya, terutama dalam kaitannya dengan aspek pedagogi. Oleh karena itu, tujuan dari studi ini adalah untuk mengisi gap tersebut dengan mengkaji EasyEDA melalui persoalan rangkaian listrik sederhana, yaitu Mesh 2 loop. Analisis dilakukan dengan membandingkan tegangan resistor pada rangkaian antara hasil perhitungan matematis terhadap pengukuran EasyEDA. Selain itu, pembuktian eksperimental juga dilakukan. Hasil observasi menunjukkan bahwa simulator EasyEDA memberikan hasil yang cukup akurat dalam mengukur tegangan pada rangkaian mesh 2 loop sederhana baik terhadap perhitungan maupun eksperimen real. Secara umum, hasil simulasi pada EasyEDA dapat diandalkan sebagai alat bantu untuk menganalisis dan merencanakan rangkaian elektronika karena mampu menghasilkan nilai pengukuran yang identik dengan eksperimen real maupun perhitungan teori.

ABSTRACT

Simulators play a crucial role in enhancing learning in higher education, particularly in the technology field, as they create a secure environment for problem-solving without the risk of damaging physical equipment. EasyEDA, an electrical circuit simulator, is widely utilized, easily accessible online, and free of charge. One notable advantage of EasyEDA is its capability to store user files on a server, allowing users to continue their projects on other devices as long as they have internet access. Despite its popularity, there needs to be more academic investigation into EasyEDA, particularly its engineering education aspects. Therefore, this study aims to bridge this gap by examining the effectiveness of EasyEDA in solving a basic electrical circuit problem involving Mesh 2 loops. The analysis involves comparing the voltage across resistors in the circuit obtained through mathematical calculations, EasyEDA measurements, and experimental verification. The findings indicate that the EasyEDA simulator accurately measures the stress in a simple two-loop mesh circuit, both in calculations and real-world experiments. In conclusion, the simulation results obtained through EasyEDA can be relied upon as a tool for analyzing and designing electronic circuits, as they yield measurement values that align with those obtained from real-world experiments and theoretical calculations.

1. Pendahuluan

EasyEDA merupakan salah simulator berbasis *website* yang memiliki aksesabilitas baik karena dapat diakses secara virtual (*online*) sehingga pengguna tidak perlu menginstal perangkat lunak di komputernya. Simulator ini dirilis pada tahun 2013 dan dikembangkan oleh Dillon He dan Eric Cui pada tahun 2010. EasyEDA dibuat untuk memudahkan para pengguna dalam menganalisis rangkaian listrik dan menyediakan kesempatan kolaborasi dengan pengguna EasyEDA lainnya (*collaborative learning*) dengan cara *sharing* proyek-proyek tersebut (Serafin, 2021; Khater, 2020). Simulator ini menyediakan banyak fitur didalamnya (termasuk *Schematic Capture* hingga *PCB Layout*) dan menawarkan akses terbuka kepada pengguna untuk belajar kapan saja dan dimana saja selama terhubung ke internet, sesuai tujuan pengembangannya, yaitu “*An Easier and Powerful Online PCB Design Tool*” (Sharma, 2019). Keunggulan lain yang dimilikinya adalah antarmuka pengguna yang intuitif atau mudah dipahami (ramah ke pengguna), sehingga pengguna dengan berbagai tingkat keahlian dapat dengan mudah menggunakannya. Selain itu, EasyEDA juga menyediakan perancangan rangkaian, simulasi, dan layout PCB dalam satu *platform* sehingga efisien dalam penggunaan karena tidak perlu menggunakan simulator atau software lainnya untuk tujuan yang berbeda (Abdrakhmanov et al., 2021). EasyEDA dapat digunakan secara gratis, akan tetapi ada beberapa fitur di dalam EasyEDA yang berbayar. Simulator ini tidak memakai bahasa pemrograman akan tetapi mendukung beberapa bahasa *scripting* seperti *JavaScript* (untuk menulis skrip pengujian khusus atau algoritma kustom), *Spice* (untuk mendefinisikan model komponen), dan *Python* (untuk berinteraksi dengan API EasyEDA). *Spice* digunakan, *JavaScript* berguna

Salah satu kekurangan yang dapat diidentifikasi pada EasyEDA adalah keterbatasan dalam koleksi model perangkat yang tersedia, terutama untuk komponen-komponen yang lebih spesifik atau jarang digunakan. Dengan demikian, pengguna mungkin menghadapi kesulitan dalam menemukan model yang sesuai dan menemukan tantangan ketika menganalisis rangkaian elektronika yang tingkat kompleksitasnya tinggi (Ptak, 2022; Yang et al., 2019). Kekurangan yang diidentifikasi dalam riset ini dapat menjadi sumber motivasi bagi pengembang dan pengguna untuk terus meningkatkan dan mengoptimalkan pengalaman menggunakan simulator ini melalui pengembangan lebih lanjut yang mencakup penambahan model komponen, peningkatan kemampuan simulasi pada rangkaian elektronika yang kompleks, dan peningkatan kustomisasi. EasyEDA dapat dimanfaatkan sebagai alternatif media pembelajaran dalam kegiatan praktikum karena kemudahannya, dan mampu memberikan pengalaman bagi mahasiswa untuk memahami konsep dasar rangkaian listrik dengan pendekatan *wiring*, simulasi, dan desain PCB. Peserta didik dapat belajar tentang komponen-komponen elektronik, hubungan antara komponen-komponen tersebut, cara menggabungkannya menjadi sebuah sirkuit yang berfungsi, dan konversi kedalam PCB. EasyEDA belum banyak dibahas secara kajian ilmiah, terutama perbandingan hasil simulasi terhadap perhitungan matematis dan pembuktiannya dengan eksperimen nyata. Penelitian sebelumnya telah membandingkan EasyEDA dengan simulator *online* lainnya pada rangkaian pembagi tegangan (Utomo et al., 2021). Kajian detail EasyEDA dilakukan oleh (Asadi, 2022) membuktikan bahwa simulator ini sangat *power-full* untuk beragam analisis rangkaian listrik sederhana karena hasil simulasinya identik dengan komputasi pada Matlab (kondisi ideal), akan tetapi kekurangannya adalah tidak adanya pembuktian eksperimental *real*.

Mengacu pada *gap* yang telah didefinisikan, yaitu belum adanya eksplorasi EasyEDA, maka tujuan dari studi ini adalah menginvestigasi performansi EasyEDA pada rangkaian listrik tertutup sederhana, yaitu rangkaian Mesh 2 loop, yang mana merupakan kasus yang sering dikaji pada pembelajaran rangkaian listrik baik di perguruan tinggi maupun di sekolah menengah atas atau kejuruan serta telah menarik banyak peneliti untuk ditinjau secara mendalam mengenai karakteristiknya (Rumulus et al., 2020; Ulandari, 2022; Ilham et al., 2022; Ilmi et al., 2023). Yang dilakukan pada (Utomo et al., 2021) hanya pada satu jenis rangkaian, yaitu rangkaian pembagi tegangan, serta tidak adanya komparasi dengan eksperimen real. Hasil pengukuran tegangan pada simulasi EasyEDA dibandingkan dengan hasil perhitungan matematis dan pembuktian eksperimental. *Benefit* yang didapatkan dari studi ini adalah berupa hasil identifikasi sejauh mana hasil simulasi EasyEDA dapat diandalkan, dan apakah memungkinkan sebagai alternatif eksperimen rangkaian listrik sederhana bagi pelajar yang tidak memiliki akses ke laboratorium elektronika. Kontribusi penelitian ini adalah memberikan wawasan yang berharga tentang penggunaan EasyEDA sebagai alat bantu dalam pembelajaran rangkaian listrik baik di SMK maupun di Perguruan Tinggi. Studi ini *sharing spirit* dengan penelitian yang dilakukan oleh (Fitriah et al., 2023) yang menganalisis simulator SimulIDE dengan *case* rangkaian Mesh 2 loop, sementara studi ini lebih menitikberatkan pada EasyEDA, yaitu suatu simulator *online* untuk tujuan edukasi (Serafin, 2021; Spasova et al., 2021; Sapiee et al., 2022), maupun proyek profesional seperti yang dipraktikkan oleh (Ilham, 2022). Studi ini terbatas pada satu simulator saja, sehingga tidak dilakukan komparasi dengan simulator lainnya.

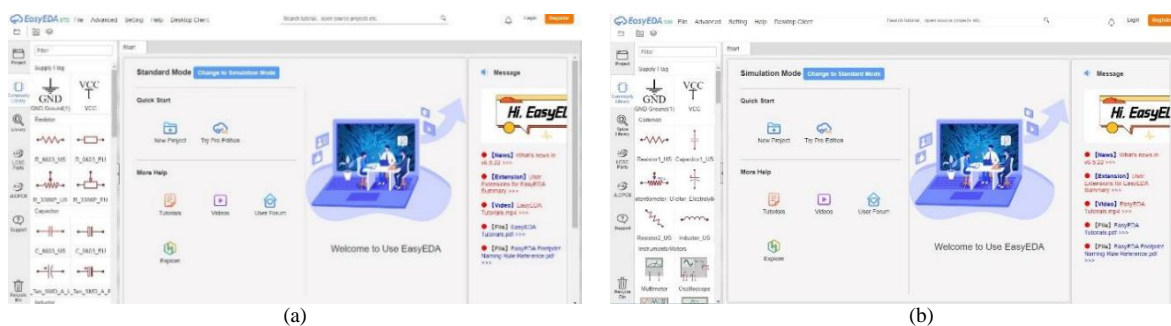
2. Metode Penelitian

2.1 Prosedur Eksperimen

Alat dan bahan dari eksperimen ini melibatkan komponen fisik dan komponen virtual. Komponen-komponen virtual disediakan oleh simulator EasyEDA (<https://EasyEDA.com/>),

mencakup *Voltage source*, resistor, *ground*, dan *Multimeter* untuk pengukuran. Sementara untuk eksperimen *real*, digunakan komponen-komponen yang sama persis dengan rangkaian pada simulasi di EasyEDA, yaitu melibatkan resistor, *project board*, Multimeter, kabel jumper dan *Power Supply*. Komponen-komponen tersebut dirangkai membentuk rangkaian Mesh 2 loop dengan nilai komponen yang telah ditentukan. Untuk mengakses EasyEDA, diperlukan perangkat PC yang terkoneksi dengan internet. Eksperimen virtual dilakukan menggunakan *browser Mozilla* atau *Chrome*.

EasyEDA adalah *platform* desain rangkaian elektronika berbasis *website* dengan fitur simulasi rangkaian sekaligus desain PCB. resminya yakni. EasyEDA memuat dua jenis mode: *standard* (Gambar 1a) dan *simulation* (Gambar 1b). Namun pada penelitian ini, digunakan *simulation mode* karena fitur simulasinya yang tidak terbatas dan lebih lengkap. Pengambilan data simulasi EasyEDA dimulai pada 15 – 16 Mei 2023. Tabel 1 merupakan perbedaan antara mode *standard* dan *Simulation*, dimana pada mode *standard* lebih berfokus pada desain dan penempatan komponen dalam sirkuit. Fitur simulasi yang disediakan terbatas dan digunakan untuk melihat hasil simulasi yang lebih kasar atau perkiraan dari sirkuit yang dirancang. Meskipun simulasi dilakukan secara *real-time* saat desain sedang dibuat atau diedit, hasilnya mungkin tidak sepenuhnya akurat atau mendetail. Sementara mode *standar* biasanya digunakan untuk keperluan desain awal, pemodelan kasar, atau penempatan komponen dalam rangkaian. Mode *simulation* dirancang khusus untuk simulasi yang lebih rinci dan akurat dengan menawarkan fitur simulasi lengkap, termasuk analisis DC (*Direct Current*), analisis AC (*Alternating Current*), analisis *transien* (gelombang), dan lainnya. *Simulation Mode* memungkinkan pengaturan sumber daya seperti sinyal *input*, pengaturan parameter komponen, dan analisis respon sirkuit dengan lebih rinci.



Gambar 1. Tampilan awal simulator online EasyEDA: (a) Standard mode; (b) Simulation mode

Hasil simulasi pada mode *Simulation* dapat dianalisis secara mendalam, termasuk melihat tegangan dan arus pada setiap titik dalam sirkuit, respon frekuensi, respon waktu, dan lainnya. Mode ini umumnya digunakan untuk analisis dan verifikasi lebih lanjut dari sirkuit yang dirancang, untuk memahami perilaku sirkuit secara detail. Perbedaan ini dapat berubah tergantung pada peningkatan versi lanjutan EasyEDA sehingga disarankan untuk merujuk ke dokumentasi resmi EasyEDA atau situs *website* mereka untuk informasi terbaru tentang perbedaan seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan antara Standard dan Simulation mode pada simulator EasyEDA ditinjau dari fokus penggunaan, fitur simulasi, akurasi, dan peruntukan

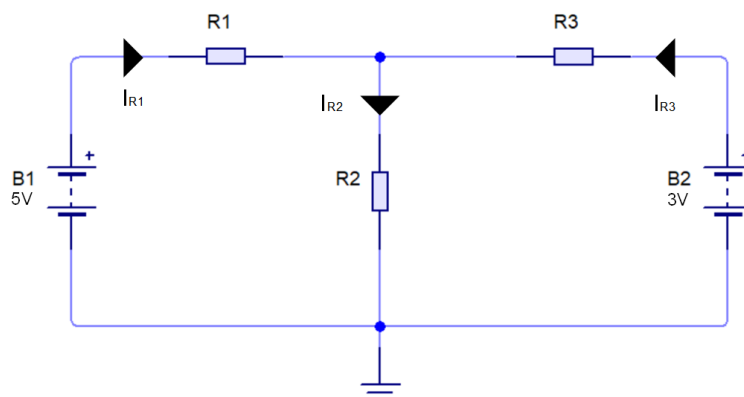
No	Standard Mode	Simulation Mode
1	Fokus pada desain dan penempatan komponen pada sirkuit. Mode ini digunakan untuk desain awal, pemodelan kasar, dan	Dirancang khusus untuk simulasi yang lebih rinci dan akurat sehingga mampu digunakan untuk analisis dan verifikasi detail dari sirkuit

	penempatan komponen	yang dirancang
2	Fitur simulasi terbatas, digunakan untuk melihat hasil simulasi yang lebih kasar atau perkiraan dari sirkuit yang dirancang.	Fitur simulasi yang lengkap (analisis DC, analisis AC, analisis transient, dan lainnya)
3	Simulasi dilakukan secara <i>real-time</i> saat desain sedang dibuat atau diedit, sehingga hasilnya mungkin tidak sepenuhnya akurat atau mendetail.	Memungkinkan pengaturan sumber daya (misalnya sinyal <i>input</i>), pengaturan parameter komponen, dan analisis respon sirkuit dengan lebih rinci.

2.2 Prosedur Eksperimen

Langkah pertama adalah perancangan rangkaian Mesh 2 loop, yang dimulai dari pemilihan desain rangkaian. Rangkaian uji melibatkan tiga buah resistor yang nilainya sesuai dengan nilai yang telah tersedia di pasaran dan dua catu daya DC (bertegangan 5V dan 3V). Selanjutnya, dipilih resistor dengan nilai yang berbeda dari ketiganya, yaitu $R_1 = 68\Omega$, $R_2 = 820\Omega$, dan $R_3 = 120\Omega$. Adapun desain rangkaian utama eksperimen ditunjukkan pada Gambar 2. Setelah desain rangkaian Mesh 2 loop ditentukan lengkap beserta nilainya dan posisi penempatan baterai, peneliti melakukan perhitungan sesuai kaidah hukum Kirchoff I dan Kirchoff II. Teori rangkaian *mesh* adalah salah satu konsep dasar dalam teori rangkaian listrik yang digunakan untuk menganalisis dan memahami rangkaian yang kompleks (Fuada, 2021; Fuada et al., 2023).

Dalam teori rangkaian *mesh*, sebuah rangkaian dibagi menjadi beberapa *mesh* atau simpul rangkaian tertutup yang saling tidak berhubungan secara langsung. Setiap *mesh* memiliki arus yang berbeda dan dikarakterisasi oleh hukum *Kirchoff II*. Dengan menggunakan kedua hukum *Kirchoff* ini, persamaan untuk *mesh* dapat ditulis dan diselesaikan persoalannya untuk menghitung nilai arus dan tegangan dalam rangkaian pada Gambar 2. Setelah mendapatkan hasil perhitungan, Langkah selanjutnya adalah menggambar pada EasyEDA. Pada studi ini, hanya dilakukan pengukuran tegangan (yaitu pengukuran di R_1 , R_2 , dan R_3) untuk dibandingkan dengan eksperimen fisik, sementara pengukuran arus tidak dilakukan. Pada EasyEDA, hal pertama yang harus dilakukan sebelum membuat proyek baru yaitu pastikan telah mendaftarkan akun di EasyEDA, kemudian meninjau menu *products* di halaman awal EasyEDA dan dipilih *standard online editor*. Kemudian diganti menjadi *simulation* mode dengan cara melakukan klik *Change to simulation mode*. Setelah itu, peneliti telah dapat membuat proyek baru. Data tegangan yang dihasilkan dari simulasi EasyEDA kemudian direkam dan dicatat.



Gambar 2. Rangkaian eksperimen Mesh 2 loop

Selanjutnya, peneliti melanjutkan ke tahap eksperimen *real*, dimana peneliti merangkai rangkaian Gambar 2 menggunakan komponen fisik dengan komponen yang sama persis

dengan simulasi EasyEDA. Pengukuran VR_1 , VR_2 , dan VR_3 dilakukan, dan hasilnya direkam dan dicatat untuk dibandingkan dengan hasil simulasi dan perhitungan. Penyimpangan hasil juga diidentifikasi, mencakup toleransi komponen fisik yang menyebabkan ketidakidealan nilai ataupun faktor kebocoran arus. Setelah eksperimen pertama berhasil dilakukan, selanjutnya, posisi baterai divariasikan dan nilai resistor ditukar posisinya. Pengaturan ini menghasilkan empat buah *setup* yang berbeda untuk mendapatkan data yang lebih variatif.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Hasil Penyelesaian *Setup* I

Pada bagian ini, disajikan hasil perhitungan, simulasi, dan eksperimen fisik untuk kasus rangkaian pada Gambar 2 (*Setup* I), dimana tiga buah resistor digunakan ($R_1 = 68\Omega$, $R_2 = 120\Omega$, $R_3 = 820\Omega$). Untuk menyelesaikan persolaan Gambar 2, digunakan pendekatan *loop* searah jarum jam, sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:

Pada *Loop* 1

$$\begin{aligned} B_1 + I_1 R_1 + R_2(I_1 - I_3) &= 0 \\ -5 + 60I_1 + 120I_1 - 120I_3 &= 0 \\ -5 + 188I_1 - 120I_3 &= 0 \\ 188I_1 - 120I_3 &= 5 \text{ (Persamaan 1)} \end{aligned}$$

Pada *Loop* 2

$$\begin{aligned} B_2 + R_2(I_1 - I_3) + R_3 I_3 &= 0 \\ 3 + 120I_3 - 120I_1 + 820I_3 &= 0 \\ 3 + 940I_3 - 120I_1 &= 0 \\ -120I_1 + 940I_3 &= -3 \text{ (Persamaan 2)} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan bentuk persamaan dari kedua *loop*, selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode Matriks *Cramer* dengan Determinan (D) yang ditentukan sebagai berikut:

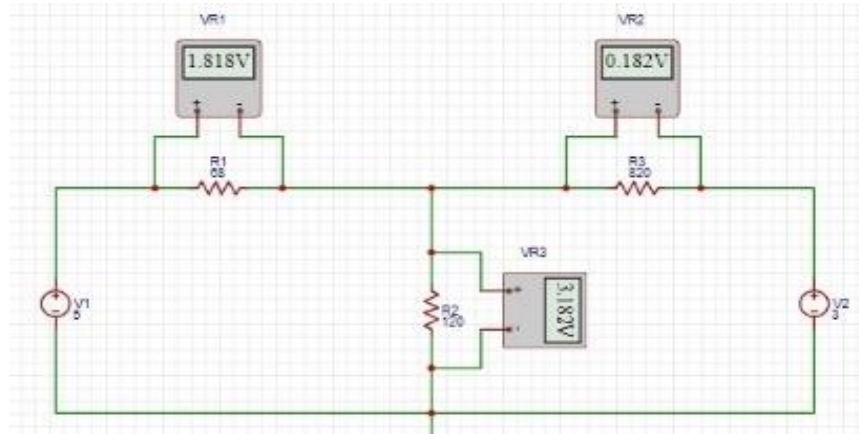
$$\begin{aligned} D &= \begin{pmatrix} 188 & -120 \\ -120 & 940 \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} 188 & -120 \\ -120 & 940 \end{vmatrix} = 5 \\ &= (176.720 - 14.400) = 162.320 \end{aligned}$$

Tabel 2 merupakan detail perhitungan untuk mencari nilai VR_1 , VR_2 , dan VR_3 , yang selanjutnya didapatkan nilai 1.81764V, 0.1818596V, dan 3.18V, secara berurutan. Setelah mendapatkan hasil hitung, simulasi dilakukan seperti pada Gambar 3. Adapun hasil pengukurannya ditampilkan pada Gambar 4. Rangkuman hasil perhitungan, simulasi EasyEda, dan eksperimen fisik pada kasus rangkaian Gambar 2 ditampilkan pada Tabel 3.

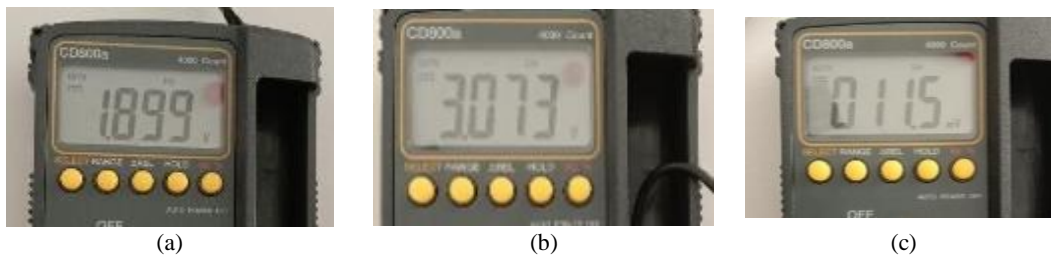
Tabel 2. Hasil perhitungan nilai tegangan masing-masing resistor menggunakan Matriks *cramer*

V_{R1}	$\frac{Dx}{D} = I_1 = \frac{\begin{pmatrix} 5 & -120 \\ -3 & 940 \end{pmatrix}}{162.320} = \frac{4700 - 360}{162.320} = 0,02673 \text{ A}$ Sehingga $V_{R1} = R_1 \times I_1$ $= 68 \Omega \times 0,02673$ $= 1,81764 \text{ V}$
V_{R2}	$I_2 = I_1 - I_3 = 0,0265 \text{ A}$ Sehingga $V_{R2} = R_2 \times I_2$ $= 120 \Omega \times 0,0265$ $= 0,1818596 \text{ V}$

V_{R3}	$\frac{Dy}{D} = I_3 = \frac{\begin{pmatrix} 180 & 5 \\ -120 & -3 \end{pmatrix}}{162.320} = \frac{-564 + 600}{162.320} = 0,00022178 \text{ A}$ <p>Sehingga $V_{R3} = R_3 \times I_3$ $= 820 \Omega \times 0,00022178$ $= 3,18 \text{ V}$</p>
----------	--



Gambar 3. Hasil simulasi EasyEDA pada rangkaian eksperimen Mesh 2 loop (Gambar 2)



Gambar 3. Hasil pengukuran aktual pada rangkaian eksperimen Mesh 2 loop (Gambar 2), menggunakan Multimeter digital SANWA CD800a

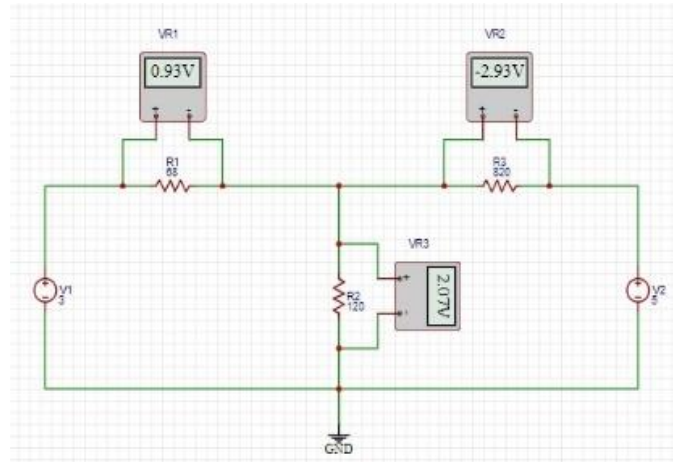
Tabel 3. Komparasi nilai tegangan masing-masing resistor pada rangkaian Mesh 2 loop (Gambar 2)

Setup	V_{R1}			V_{R2}			V_{R3}		
	Hitung	Simulasi	Real	Hitung	Simulasi	Real	Hitung	Simulasi	Real
I	1.817 V	1.818 V	1.899 V	3.181 V	3.182 V	3.073 V	0.181 V	0.182 V	11.5 mV

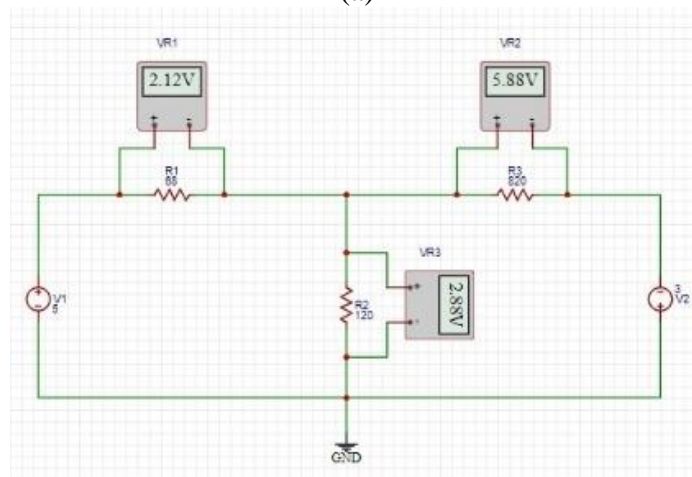
Pada rangkaian setup I terdapat sumber tegangan $B_1 = 5V$ dan sumber tegangan $B_2 = 3V$, pada loop ke-1 searah dengan sumber tegangan B_1 , I_{R1} , dan I_{R2} , sedangkan loop ke-2 berlawanan dengan I_{R2} dan I_{R3} . Sehingga didapatkan hasil besar tegangan pada $V_{R1} = 1.818V$, $V_{R2} = 3.182V$, dan $V_{R3} = 0.182V$. Hasil V_{R1} , V_{R2} , dan V_{R3} baik pada simulasi, perhitungan, dan *real* tidak berbeda jauh kecuali pada V_{R3} (semestinya menunjukkan sekitar 180 mV) dimana perbedaan ini karena kemampuan dari Multimeter yang kurang baik pada orde mili Volt.

3.2 Hasil Penyelesain Pada Setup yang Berbeda

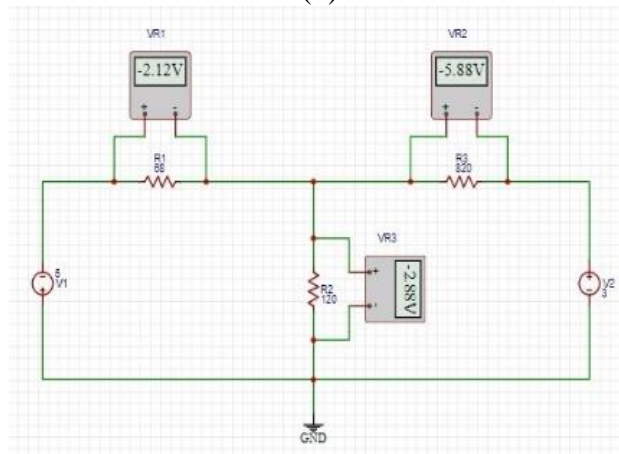
Variasi *Setup* dilakukan dengan mengubah posisi baterai dan komponen resistor yang menghasilkan empat buah varian. Adapun hasil simulasi *Setup* II, III, dan IV, ditunjukkan pada Gambar 4(a), (b), dan (c), secara berurutan. Tabel 4 merupakan rangkuman perbandingan antara hasil simulasi terhadap perhitungan teori dan pengukuran *real*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Hasil simulasi EasyEDA pada rangkaian eksperimen Mesh 2 loop (Gambar 2) untuk Setup: (a) kedua; (b) ketiga; dan (c) keempat

Tabel 4. Komparasi nilai tegangan masing-masing resistor pada rangkaian Mesh 2 loop dengan Setup yang berbeda-beda

Setup	V_{R1}			V_{R2}			V_{R3}		
	Hitung	Simulasi	Real	Hitung	Simulasi	Real	Hitung	Simulasi	Real
II	0.930 V	0.93 V	0.935 V	2.07 V	2.07 V	2.070 V	-2.930 V	-2.93 V	-2.905 V
III	2.12 V	2.12 V	2.048 V	2.88 V	2.88 V	2.707 V	5.88 V	5.88 V	5.78 V
IV	-2.119 V	-2.12 V	-2.180 V	-2.880 V	-2.88 V	-2.787 V	-5.88 V	-5.88 V	-5.84 V

Pada rangkaian *setup* II terdapat sumber tegangan $B_1 = 3V$ dan $B_2 = 5V$ (ditukar posisinya), pada *loop* ke-1 searah dengan sumber tegangan B_1 , I_{R1} , dan I_{R2} , sedangkan *loop* ke-2 berlawanan dengan I_{R2} dan I_{R3} . Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan pada $V_{R1} = 0.93V$, pada $V_{R2} = 2.07V$, dan $V_{R3} = -2.93V$, dimana hasil ini sesuai dengan hasil teori. Namun, ketika dilakukan eksperimen real, terdapat beberapa perbedaan, yaitu $V_{R1} = 0.935V$, $V_{R2} = 2.070V$, dan $V_{R3} = -2.905V$. Selisih antara hasil simulasi dan eksperimen aktual tidak begitu signifikan, yaitu hanya $0.005V$ pada V_{R1} dan $0.025V$ pada V_{R3} .

Pada *setup* III terdapat sumber tegangan $B_1 = 5V$ dan $B_2 = 3V$, pada *loop* ke-1 searah dengan sumber tegangan B_1 , I_{R1} , dan I_{R2} , sedangkan *loop* ke-2 berlawanan dengan I_{R2} , dan searah dengan I_{R3} maupun B_2 . Hasil didapatkan pada $V_{R1} = 2.12V$, $V_{R2} = 2.88V$, dan $V_{R3} = 5.88V$. Jika dibandingkan dengan perhitungan teori *mesh*, ketiganya bernilai signifikan ini berarti simulator EasyEDA cukup akurat dalam menghitung tegangan pada rangkaian *mesh* 2 *loop*. Sedangkan jika dibandingkan dengan eksperimen *real* terdapat sedikit perbedaan namun tidak mengubah keakuratan dari hasil simulator.

Pada *setup* IV, B_1 diatur $5V$ dan $B_2 = 3V$, pada *loop* ke-1 berlawanan arah dengan B_1 , I_{R1} , dan searah dengan I_{R2} , sedangkan *loop* ke-2 berlawanan dengan I_{R2} , I_{R3} , dan B_2 . Dengan pengaturan ini, diperoleh $V_{R1} = -2,12V$, $V_{R2} = -2,88V$ dan $V_{R3} = -5,88V$. Pengukuran saat eksperimen *real*, pada *setup* IV dengan kondisi yang sama diperoleh hasil $V_{R1} -2,180V$, $V_{R2} = -2,787V$, dan $V_{R3} = -05,84V$. Berdasarkan perbandingan hasil pengukuran pada EasyEDA dengan eksperimen *real*, terdapat perbedaan nilai tegangan antara keduanya. Pada EasyEDA, diperoleh $V_{R1} = -2,12V$, $V_{R2} = -2,88V$, dan $V_{R3} = -5,88V$. Sementara itu, dalam eksperimen *real*, diperoleh $V_{R1} = -2,180V$, $V_{R2} = -2,787V$, dan $V_{R3} = -5,84V$. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti ketidaksempurnaan komponen dalam rangkaian dan ketidakakuratan pengukuran.

Ketidaksesuaian antara hasil perhitungan teori, simulasi EasyEDA, dengan eksperimen aktual disebabkan oleh beberapa faktor seperti sumber tegangan pada *Power Supply* yang mengalami resistansi internal sehingga terjadi penurunan tegangan, adanya kesalahan dalam pengukuran seperti kurang tepatnya dalam menempatkan *probe* pengukur atau alat ukur lainnya, kurang telitinya resistansi kabel yang menghubungkan komponen dalam *mesh* pada analisis teori dengan eksperimen, dan adanya fluktuasi tegangan atau arus pada rangkaian, perubahan suhu, atau gangguan elektromagnetik (Wiguna, 2022; Ilham et al., 2022).

3.3 Akurasi

Untuk menguji keakuratan dari simulator EasyEDA, maka dilakukan perhitungan data % *error* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5, 6, dan 7, untuk *setup* II, III, dan IV, secara berurutan. Masing-masing tabel mengacu pada perhitungan yang telah ditentukan, yaitu persentase antara hasil simulasi terhadap hasil hitung, hasil eksperimen terhadap hasil hitung, dan hasil eksperimen terhadap simulasi EasyEDA. Berdasarkan perhitungan, jika hasil pengukuran mendekati angka 100% maka bisa dikatakan hasilnya cukup akurat karena mendekati nilai sebenarnya. Ditinjau dari Tabel 5, 6, 7, dan 8, dapat diperhatikan bahwa akurasi EasyEDA terhadap hasil hitung sebesar 100%, sementara terhadap eksperimen dalam kisaran 96 – 100%.

Tabel 5. Akurasi pengukuran pada Setup I

No	Parameter	$\frac{\text{Hasil Simulasi}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Simulasi}} \times 100\%$
1	V_{R1}	$\frac{1.818}{1.817} \times 100\% = 100\%$	$\frac{1.899}{1.817} \times 100\% = 104\%$	$\frac{1.899}{1.818} \times 100\% = 104\%$
2	V_{R2}	$\frac{3.182}{3.18} \times 100\% = 100\%$	$\frac{3.073}{3.18} \times 100\% = 96\%$	$\frac{3.073}{3.182} \times 100\% = 97\%$
3	V_{R3}	$\frac{0.182}{0.181} \times 100\% = 100\%$	$\frac{0.115}{0.181} \times 100\% = 63\%$	$\frac{0.115}{0.182} \times 100\% = 63\%$

Tabel 6. Akurasi pengukuran pada Setup II

No	Parameter	$\frac{\text{Hasil Simulasi}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Simulasi}} \times 100\%$
1	V_{R1}	$\frac{0.93}{0.930} \times 100\% = 100\%$	$\frac{0.935}{0.930} \times 100\% = 100\%$	$\frac{0.935}{0.93} \times 100\% = 100\%$
2	V_{R2}	$\frac{2.07}{2.07} \times 100\% = 100\%$	$\frac{2.070}{2.07} \times 100\% = 100\%$	$\frac{2.070}{2.07} \times 100\% = 100\%$
3	V_{R3}	$\frac{-2.93}{-2.930} \times 100\% = 100\%$	$\frac{-2.905}{-2.930} \times 100\% = 99\%$	$\frac{-2.905}{-2.93} \times 100\% = 99\%$

Tabel 7. Akurasi pengukuran pada Setup III

No	Parameter	$\frac{\text{Hasil Simulasi}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Simulasi}} \times 100\%$
1	V_{R1}	$\frac{2.12}{2.12} \times 100\% = 100\%$	$\frac{2.048}{2.12} \times 100\% = 96\%$	$\frac{2.048}{2.12} \times 100\% = 96\%$
2	V_{R2}	$\frac{2.88}{2.88} \times 100\% = 100\%$	$\frac{2.707}{2.88} \times 100\% = 93\%$	$\frac{2.707}{2.88} \times 100\% = 93\%$
3	V_{R3}	$\frac{5.88}{5.88} \times 100\% = 100\%$	$\frac{5.78}{5.88} \times 100\% = 98\%$	$\frac{5.78}{5.88} \times 100\% = 98\%$

Tabel 8. Akurasi pengukuran pada Setup IV

No	Parameter	$\frac{\text{Hasil Simulasi}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Hitung}} \times 100\%$	$\frac{\text{Hasil Eksperimen}}{\text{Hasil Simulasi}} \times 100\%$
1	V_{R1}	$\frac{-2.12}{-2.119} \times 100\% = 100\%$	$\frac{-2.180}{-2.119} \times 100\% = 102\%$	$\frac{-2.180}{-2.12} \times 100\% = 102\%$
2	V_{R2}	$\frac{-2.88}{-2.880} \times 100\% = 100\%$	$\frac{-2.787}{-2.880} \times 100\% = 96\%$	$\frac{-2.787}{-2.88} \times 100\% = 96\%$
3	V_{R3}	$\frac{-5.88}{-5.88} \times 100\% = 100\%$	$\frac{-5.84}{-5.88} \times 100\% = 99\%$	$\frac{-5.84}{-5.88} \times 100\% = 99\%$

4. Kesimpulan

Telah dilakukan kajian performansi simulator EasyEDA dengan menggunakan *case* rangkaian *Mesh 2 loop*. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran tegangan pada EasyEDA terhadap perhitungan teori dan pengukuran eksperimen aktual. Hasil komparasi menunjukkan beberapa perbedaan dalam hasil dengan selisih yang minimum. Simulator EasyEDA dapat diandalkan untuk mensimulasikan rangkaian dan

mendapatkan hasil dengan cepat dan cukup akurat terhadap teori dan mendekati dengan eksperimen aktual. Pengguna dapat memanfaatkan EasyEDA untuk belajar rangkaian listrik dasar dengan cara *proof-of-results* dari hasil perhitungan rangkaian terhadap hasil simulasi EasyEDA. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan variasi rangkaian *Mesh* yang lebih kompleks dengan melibatkan banyak *loop* dan banyak komponen serta perlu membandingkan beberapa simulator sejenis pada kasus rangkaian *Mesh 2 loop* atau lebih untuk diketahui performansi masing-masing simulator.

Daftar Pustaka

- Abdrakhmanov, V. K., Salikhov, R. B., & Popov, S. A. (2021, November). Experience of using easyeda to develop training boards on the pic16f887 microcontroller. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2096, No. 1, p. 012098). IOP Publishing.
- Asadi, F. (2022). *Electric Circuit Analysis with EasyEDA*. Springer.
- Fitriah, H. M., Fuada, S., Ahmayani, I., Amril, N. S., Murni, Z., & Jannah, N. F. (2023). Pemanfaatan Simulator Simulide Sebagai Simulasi Rangkaian Mesh 2 Loop Disertai Pembuktian Dengan Praktikum Real. *ELECTRA: Electrical Engineering Articles*, 4(1), 33-43.
- Fuada, S. (2021). *Elektronika Dasar untuk Mahasiswa Teknik Telekomunikasi: Pendekatan Praktik Secara Virtual*. Tangerang: Media Edukasi Indonesia
- Fuada, S., Danuarteu, M. D., Agustin, S., Carmelya, A. A., Fadhilah, I., Heong, Y. M., & Kaewpukdee, A. (2023). Can PhET simulate basic electronics circuits for undergraduate students?. *Jurnal Infotel*, 15(1), 97-110.
- Ilham, A. (2022). *Rancang Bangun Printed Circuit Board (PCB) pada Robot KRAI Blakasutha menggunakan Software EasyEDA* (Skripsi, Universitas Jenderal Soedirman).
- Ilham, M. D., Kurniadi, E., & Huriawati, F. (2022, July). Kesalahan Siswa dan Mahasiswa dalam Menyelesaikan Soal Rangkaian Listrik Sederhana: Studi Pemahaman Terhadap Hukum Ohm, dan Hukum I & II Kirchhoff. In *SNPF (Seminar Nasional Pendidikan Fisika)*.
- Ilmi, U., Faroh, R. A., Hanifah, A. I., & Mukhoyyaroh, I. (2023). Studi Persoalan Sistem Persamaan Linear dalam Rangkaian Listrik Berbasis Matlab dan OBE. *ELECTRA: Electrical Engineering Articles*, 3(2), 35-45.
- Khater, M. A. (2020). High-speed printed circuit boards: A tutorial. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 20(3), 34-45.
- Ptak, P. (2022, May). Virtual Learning Of Electronics. In *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference* (Vol. 1, pp. 229-236).

- Rumulus, M. D., Widjajanti, T., & Hilum, R. (2020). Penerapan Hukum Kirchoff pada Rangkaian Ekuivalen untuk Memperoleh Persamaan Telegraf. *Jurnal Natural*, 16(2), 66-73.
- Sapiee, N. M., Leu, J. Y., Tanra, M., Safii, N. S., Seng, T. W., Hamzah, S. H., ... & Arsad, N. (2022, March). Design and Development of Printed Circuit Board (PCB) for Smart Calorie Counter System. In *2022 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE)* (pp. 90-94). IEEE.
- Serafin, C. (2021). Online Tools for Electrical and Electronics Education. *Journal of Education, Technologies, and Computer Science*, 2(32), 148-152.
- Spasova, N., Bogdanov, S., & Chikurteva, A. (2021, May). Opportunities for Online Engineering Training in Electronics. In *2021 12th National Conference with International Participation (ELECTRONICA)* (pp. 1-4). IEEE.
- Shama, K. (2019, July). design and verification of analog integrated circuits using free or open source EDA tools. In *2019 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ulandari G. A. M. (2022). Rangkaian DC Menggunakan Teorema Mesh. *Jurnal Repoteknologi*, 2(3), 1-13
- Utomo, M. S. D., Fuada, S., Liu, C., Asri, H. N., Alwan, M. F., Kinanti, K. A., & Pratiwi, W. (2021). Analisis perhitungan teori dengan menggunakan variasi simulator online pada rangkaian pembagi tegangan. *Telecommunications, Networks, Electronics, and Computer Technologies (TELNECT)*, 1(2), 61-70.
- Wiguna, I. W. Y. M. (2022). Perancangan Perangkat Lunak Penghitungan Besar Kuat Arus, Hambatan dan Tegangan Elemen Dalam Rangkaian Listrik Tertutup. *Jurnal Kewarganegaraan*, 6(2), 4489-4499.
- Yang, S. T., Chiang, C. H., Hsieh, Y. C., Lee, P. N., & Wang, C. C. (2019, December). PCB integrated inductor design optimized and electrical performance analysis for power module development. In *2019 Electrical Design of Advanced Packaging and Systems (EDAPS)* (pp. 1-3). IEEE.