

## Analisis Rangkaian Pembagi Tegangan dan Perbandingan Hasil Simulasinya Menggunakan Simulator *Offline*

Syifaul Fuada<sup>1</sup>, Maulida Yasmin<sup>2</sup>, Meiliya Cahya Yustina<sup>3</sup>, Annisa Amalia<sup>4</sup>, Devi Anassafila Pratiwi<sup>5</sup>, Amalia Annisa<sup>6</sup>, Najwa Zahratul Kubro<sup>7</sup>, Diar Dwi Sutia<sup>8</sup>, Sahat Parulian<sup>9</sup>, Muhammad Gani Baihaqi Darussalam<sup>10</sup>, Ridha Febriliana<sup>11</sup>, Yessi Tiyastanti<sup>12</sup>, Rahadian Ilham Aji Rukmantara<sup>13</sup>, Vina Fujiyanti<sup>14</sup>, Gita Alisrobia Nazarudin<sup>15</sup>

<sup>1-15</sup> Universitas Pendidikan Indonesia

e-mail: [syifaulfuada@upi.edu](mailto:syifaulfuada@upi.edu), [maulidayasmin@upi.edu](mailto:maulidayasmin@upi.edu), [meiliyacahya@upi.edu](mailto:meiliyacahya@upi.edu),  
[annisaamalia@upi.edu](mailto:annisaamalia@upi.edu), [devianassafila5@upi.edu](mailto:devianassafila5@upi.edu), [amaliannisa10@upi.edu](mailto:amaliannisa10@upi.edu),  
[najwaazk@upi.edu](mailto:najwaazk@upi.edu), [diardwis@upi.edu](mailto:diardwis@upi.edu), [sahatparulian@upi.edu](mailto:sahatparulian@upi.edu),  
[ganibaihaqidarussalam@upi.edu](mailto:ganibaihaqidarussalam@upi.edu), [ridhafebriliana@upi.edu](mailto:ridhafebriliana@upi.edu), [yesitystnt@upi.edu](mailto:yesitystnt@upi.edu),  
[rahadian.iam@upi.edu](mailto:rahadian.iam@upi.edu), [vinafujiyanti@upi.edu](mailto:vinafujiyanti@upi.edu), [gitanazareth63@upi.edu](mailto:gitanazareth63@upi.edu)

Diterima: 02-11-2021

Disetujui: 11-01-2022

Diterbitkan: 23-02-2022

### Abstract

*This paper reveals the voltage divider circuit to better understand the fundamental working principles in detail. The approach was simulated using popular offline simulators (i.e., Pr, CW circuit, and virtual mode, EWB, Mu, P, Ye, TS, QUCS, LTS, SI, and PhET). Two scenarios were carried out: measuring the output voltage ( $V_{out}$ ) with known  $R_1$ ,  $R_2$ , and DC source (Battery) as a voltage input ( $V_{in}$ ), then looking for  $R_1$  and  $R_2$  using four different calculation methods to obtain  $V_{out}$  as expected. Afterward, the value of  $R_1$  and  $R_2$  were inserted into the simulation circuit to guarantee if the current  $V_{out}$  value matched the initial  $V_{out}$ . Finally, the simulation results were compared with the calculation results. All simulators provide an attractive GUI, capable of simulating voltage measurements with 100% accuracy in terms of DC analyses, which is DC voltage (except the CW software, which is only 98%), and can be entered in any resistor value (except Ye and PhET software). Surprisingly, the results of this study can provide insight for beginners to understand essential topics in electrical engineering studies, e.g., the circuit topology, fundamental theory, and working principle of a voltage divider circuit. Besides, the student will understand an offline electronic-based simulator suitable for measuring voltage parameters. Furthermore, they are expected to apply this circuit to various electronic circuit cases.*

**Keywords:** Voltage Divider circuit, Offline, Simulator, Electronics-based Software

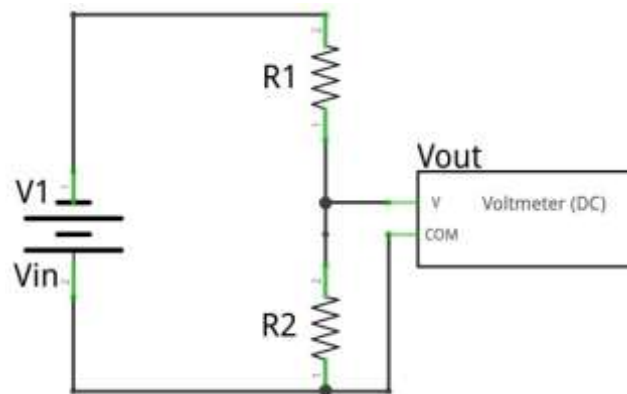
### Abstrak

Penelitian ini memaparkan rangkaian pembagi tegangan secara detail dengan tujuan untuk lebih memahami prinsip kerja tegangan dengan simulator. Pendekatan penelitian dilakukan secara simulasi, yaitu menggunakan sebelas simulator jenis offline yang telah populer (*Pr*, *CW* untuk mode circuit dan virtual, *EWB*, *Mu*, *PS*, *Ye*, *TS*, *QUCS*, *LTS*, *SI*, dan *PhET*). Dua skenario telah dilakukan, yaitu: mengukur tegangan keluaran ( $V_{out}$ ) dengan nilai  $R_1$  &  $R_2$  serta nilai tegangan baterai sebagai masukan ( $V_{in}$ ) yang telah ditentukan, kemudian mencari nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dengan menggunakan empat cara hitung agar menghasilkan  $V_{out}$  sesuai ekspektasi. Setelah  $V_{out}$  didapatkan, kemudian  $R_1$  dan  $R_2$  dimasukkan kedalam rangkaian untuk melihat nilai  $V_{out}$  sekarang dibandingkan dengan  $V_{out}$  awal. Hasil simulasi dibandingkan dengan hasil perhitungan. Semua simulator menyediakan GUI yang menarik serta mampu mensimulasikan pengukuran tegangan listrik dengan akurasi 100% untuk analisis DC, yaitu tegangan listrik (kecuali software *CW* yang hanya 98%), dan dapat dimasukkan nilai resistor sembarang atau diluar nilai resistor (kecuali software *Ye* dan *PhET*). Hasil penelitian memberikan *insight* bagi mahasiswa rumpun elektronika tingkat dasar atau engineer pemula untuk lebih memahami topologi rangkaian, teori, dan prinsip kerja dari rangkaian pembagi tegangan sederhana dua resistor. Selain itu, diharapkan hasil penelitian dapat memberi pemahaman tentang simulator jenis *offline* yang sesuai untuk mengukur parameter tegangan listrik. Dengan demikian, mahasiswa elektronika mampu mengaplikasikan rangkaian ini untuk beragam ide mengenai rangkaian elektronika.

**Kata kunci:** Rangkaian Pembagi Tegangan, Simulator offline, software elektronika

## Pendahuluan

Rangkaian pembagi tegangan (*Voltage Divider*) merupakan sebuah rangkaian yang terdiri atas dua buah resistor atau lebih, dirangkai secara seri dan kemudian dihubungkan ke suatu sumber tegangan *Direct Current* (DC), sebagai  $V_{in}$  (Boylestad, 2016; Fauzi et al., 2021; Tooley, 2015; Zain, 2016). Pada tahap selanjutnya, diambil titik antara resistor terhadap *Ground* sebagai tegangan *output* ( $V_{out}$ ) yang dihasilkan oleh rangkaian ini. Adapun struktur rangkaian dasar rangkaian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Pembagi Tegangan Sederhana (Boylestad, 2016)

Rangkaian pembagi tegangan berfungsi untuk mengubah tegangan DC yang besar ke tegangan yang lebih kecil dari  $V_{in}$  yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan (Boylestad, 2016; Fuada, 2021; Tooley, 2015). Secara umum, tegangan sumber DC menggunakan baterai sebagai sumber listrik yang stabil untuk memasok energi pada suatu rangkaian elektronika. Baterai juga merupakan menjadi sumber listrik untuk sebuah rangkaian elektronika yang paling baik (Putra et al., 2019).  $V_{out}$  dapat diukur menggunakan *Voltmeter* atau Multimeter dengan menghubungkan *probe* ke titik *output* terhadap *Ground*. Perangkat alat ukur ini berfungsi untuk memeriksa apakah  $V_{out}$  sudah sesuai dengan yang diinginkan atau belum (Nawali et al., 2015). Rangkaian ini seringkali dijadikan sebagai salah satu topik mata kuliah yang berkaitan dengan *fundamental electronics*.

Rangkaian pembagi tegangan telah dikenal oleh *engineer* elektronika sebagai konfigurasi rangkaian elektronika dasar dan banyak dipraktikkan prinsip kerjanya ke berbagai aplikasi, seperti

- 1) Tipologi rangkaian sensor untuk instrumentasi/ pengukuran elektronis (Findiatmaja et al., 2021; Reinaldi et al., 2020; Yohannes et al., 2017),
- 2) *Biasing* pada Transistor (Darmana & Koerniawan, 2017; Fuada, 2015; Handoko et al., 2017),
- 3) Menghasilkan tegangan DC stabil yang untuk suplai modul elektronika tertentu yang nilainya tidak disediakan oleh baterai standar (1,5V, 3V, 9V, 12V, dst) (Fuada, Lawu, et al., 2020; Lawu et al., 2017),
- 4) Konfigurasi sensor untuk *input* rangkaian komparator (Budiyanta et al., 2020; Fuada, 2017; Jannah et al., 2021; Nurhayati & Maisura, 2021),
- 5) Sebagai perangkat tahap pertama pada sistem telekomunikasi optik nirkabel (Chen et al., 2018; Fuada, Adiono, et al., 2020; Ibhaze et al., 2020; Kodama & Haruyama, 2017).

Meskipun demikian, eksplorasi rangkaian untuk keperluan edukasi tetap perlu dilakukan khususnya bagi mahasiswa pemula (*beginner*) rumpun elektronika. Mahasiswa perlu memahami konsep dasar rangkaian ini dengan baik. Adapun konsep yang harus dikuasai adalah bagaimana

menghitung  $V_{out}$  dan bagaimana mencari nilai  $R_1 - R_2$  untuk mencari  $V_{out}$  yang diinginkan (Fauzi et al., 2021). Dengan banyaknya artikel yang bertebaran di Internet tentang rangkaian pembagi tegangan, mahasiswa dapat dengan mudah belajar tentang materi ini, terutama di *website* komunitas elektronika besar seperti *Electronics-tutorials* dan *Allaboutcircuit*.

Meskipun demikian, ragamnya informasi yang disajikan terpisah satu sama lain. Sehingga mahasiswa perlu mencari literatur yang lebih komprehensif (mencakup tentang pencarian  $V_{out}$  dan metode kombinasi  $R_1 - R_2$ ). Selanjutnya, berdasarkan pencarian literatur ilmiah, sejauh ini penelitian terhadap rangkaian pembagi tegangan secara terfokus (*specific*) belum banyak dilakukan karena dianggap rangkaian yang telah *mature*. Secara khusus, penelitian tentang eksplorasi rangkaian pembagi tegangan telah dijalankan dengan menggunakan variasi simulator *online* (Utomo et al., 2021). Hasil penelitian telah membuka perspektif baru, yaitu perlunya melakukan eksplorasi rangkaian elektronika fundamental untuk keperluan edukasi.

Pada penelitian ini, eksperimen serupa dilakukan namun menggunakan simulator *offline* yang familiar digunakan oleh *electronic engineer community, researcher*, maupun mahasiswa yaitu *Pr, CW, EWB, Mu, Ye, TS, QUCS, LTS, SI, dan PhET*. (Utomo et al., 2021). Penelitian ini memberikan *insight* dengan pembahasan yang lebih komprehensif tentang rangkaian pembagi tegangan meliputi pembuktian perhitungan matematis  $V_{out}$  terhadap hasil simulasi. Hasil dari penelitian dapat dijadikan sumber belajar atau referensi dasar bagi mahasiswa atau *early engineer* untuk memahami materi rangkaian pembagi tegangan. Sebelumnya, peserta didik perlu mempelajari materi-materi dasar dengan komprehensif serta menguasai semua konsep dasar termasuk materi sederhana rangkaian pembagi tegangan (Wulandaru, 2015). Selain itu, penelitian ini juga mengungkapkan komparasi hasil komputasi masing-masing simulator terkait kelengkapan, GUI, dan tingkat akurasi. Dengan demikian, simulator yang tepat untuk analisis DC, yang secara terfokus yaitu mengukur parameter tegangan listrik dapat direkomendasikan oleh pengajar atau tutor kepada peserta didik dalam mendukung tercapainya tujuan Pendidikan (Wahyuni, 2020).

## Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan teoretis dan pembuktiannya menggunakan beberapa simulator *offline*. Terdapat dua skenario yang digunakan: skenario I yaitu membandingkan hasil perhitungan matematis  $V_{out}$  rangkaian pembagi tegangan dimana nilai  $R$  dipilih dengan pengaturan ( $R_1 > R_2$ ,  $R_1 = R_2$ , dan  $R_1 < R_2$ ) terhadap simulasi. Skenario II adalah mencari perhitungan kombinasi  $R_1$  dan  $R_2$  yang didapat melalui empat metode dimana tegangan input ( $V_{in}$ ) dan  $V_{out}$  rangkaian pembagi tegangan telah diketahui sebelumnya. Adapun nilai  $R_1$  dan  $R_2$  kemudian dimasukkan kedalam rangkaian simulasi. Selanjutnya, membandingkan hasil  $V_{out}$  dengan perhitungan simulasi yang sama persis atau tidak.

Sebelas simulator *offline* digunakan untuk verifikasi rangkaian, yaitu *Pr, CW, EWB, Mu, PS, Ye, TS, QUCS, LTS, SI, dan PhET*. Simulator-simulator tersebut mudah diakses dan dapat digunakan oleh peneliti namun dengan durasi waktu tertentu (1 bulan) karena bersifat berbayar (*licensed*). Selain periode waktu akses yang terbatas, beberapa simulator Versi *trial* tersebut juga membatasi beberapa hal yang krusial, seperti fitur, komponen, keleluasaan dalam drag-drop komponen, dan terbatas dalam menggunakan instrumen virtual. Meskipun demikian, peneliti tidak kesulitan dalam melakukan simulasi karena komponennya sedikit dan bersifat dasar, yaitu dua buah resistor, tegangan DC, dan Voltmeter. Semua versi *Trial* dapat dilakukan *run* hasil simulasi. Detail skenario I dan skenario II dijabarkan sebagai berikut:

## a. Skenario I

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, skenario I bertujuan untuk mencari nilai  $V_{out}$  dengan nilai Resistor ( $R_1$  &  $R_2$ ) dan  $V_{in}$  yang telah diketahui. Selanjutnya, perhitungan matematis dari rangkaian pembagi tegangan dibandingkan dengan hasil simulasi dari ke-11 *software* yang telah disebutkan (*Pr*, *CW*, *EWB*, *Mu*, *PS*, *Ye*, *TS*, *QUCS*, *LTS*, *SI*, dan *PhET*).

*Software Pr* merupakan jenis simulator keluaran *Lab Center*, perusahaan perangkat lunak berbasis di Inggris. Aplikasi ini difungsikan untuk mensimulasikan rangkaian elektronika analog maupun digital dan cukup mudah untuk digunakan pemula. *Software* ini dikategorikan sebagai *offline software* karena harus diunduh agar dapat diakses, berbayar, dan telah banyak dipakai untuk keperluan akademis maupun industri (Fuada, 2017; H. Li et al., 2018; Y. Li & Zhang, 2011; Pratiwi et al., 2021; Umayya & Susanto, 2020). *Software Pr* memiliki dua paket, yaitu simulator untuk rangkaian elektronika dan *layout* PCB profesional. *Software Pr* merupakan salah satu yang paling populer di kalangan mahasiswa elektro di Indonesia (Larasati, 2021; Puspasari, 2013).

*Software CW* dikeluarkan oleh *New Wave Concept*, perusahaan perangkat lunak asal UK. *CW* adalah sebuah paket lengkap simulator meliputi desain rangkaian simulasi, dan konversi rangkaian ke PCB. Komponen yang berada pada aplikasi ini sangat mudah digunakan bagi pelajar, karena tata letak menu *bar* yang *user friendly*. Selain itu, setiap komponen mudah ditemukan pada setiap *library* yang ada. Aplikasi ini hanya dapat dilakukan secara *offline* sehingga tidak membutuhkan akses internet (Darmawan & Rijanto, 2019; Dewi et al., 2021; Nugroho et al., 2021). Simulator ini memuat dua mode yang berbeda, yaitu *circuit* dan *virtual*. Pada mode *virtual*, komponen dan instrumen alat ukur disediakan layaknya benda asli dalam kehidupan nyata, contohnya seperti digital multimeter, baterai dengan daya 1,5V, 3V, 4,5V dan 9V, *Oscilloscope*, *Function Generator*, dan *DC Power Supply*, dan lain sebagainya (Pratiwi et al., 2021).

*Software EWB* merupakan *software* jenis *offline* berbasis SPICE untuk membuat simulasi sebuah rangkaian analog *mixed signal* maupun digital (Nurhidayah et al., 2020; Waite & Bendame, 1999). Simulator ini menyediakan beragam alat ukur *virtual* dan banyak dipakai untuk keperluan pembelajaran (Zhu & Liu, 2021), tidak hanya bidang ilmu elektronika (Mafudi & Handhika, 2021), melainkan bidang sains lainnya (Sadik & Cheung, 2001).

*Software Mu* merupakan aplikasi keluaran *National Instrument*, yaitu versi pengembangan dari *Software EWB* yang digunakan untuk membuat rangkaian elektronika secara virtual (Báez-López & Guerrero-Castro, 2011; Surahmat & Fu'ady, 2020). Simulator ini telah banyak dipakai untuk memverifikasi rancangan rangkaian elektronika untuk kegiatan praktikum mahasiswa dan penelitian professional (Fuada & Aquari, 2013; Z. Li et al., 2020; Ptak, 2018). *Software Mu* telah banyak membantu pengajar untuk meningkatkan kualitas kegiatan belajar mengajar (Zhou et al., 2021). Aplikasi ini mengandung fitur komponen yang sangat lengkap (Djalal & Rahmat, 2020; Noga & Palczynska, 2018).

Berikutnya, *software PS* adalah sebuah perangkat lunak untuk simulasi berbagai macam keperluan elektronika. *Software* ini memuat *tools* yang sangat lengkap dan mudah digunakan. Tingkat akurasi dari simulator ini adalah 100% dengan perhitungan yang dilakukan secara manual. Pada umumnya simulator ini digunakan untuk rangkaian elektronika daya (Khader et al., 2011; Tumbelaka, 2018), namun dalam penerapannya dapat dipakai untuk berbagai jenis rangkaian analog (Mehtar, 2013).

*Software Ye* merupakan rangkaian produk *software* edukasi yang menyediakan konten interaktif untuk siswa. aplikasi ini keluaran dari *Sumdog*, perusahaan perangkat lunak berbasis di Edinburgh, UK. *Software Ye* menyediakan empat bidang ilmu, yaitu: sains, komputasi, matematika, dan teknologi (Hryhorova, 2017). Dengan simulator ini, pengguna dapat melakukan eksperimen ilmiah, membuat model matematika, merancang rangkaian elektronik, atau belajar pemrograman komputer. Simulator ini menggunakan antarmuka terpadu disertai tampilan 3D untuk memodelkan reaksi dalam bidang subjek ilmiah dan teknologi (Fuada & Aquari, 2013).

Aplikasi simulator berikutnya yakni *Software TS* yang merupakan simulator *offline* yang berbasis SPICE diproduksi oleh *Texas Instrument* (Bednar et al., 2020; Mancharkar, 2013). Aplikasi ini gratis untuk diakses dan dapat digunakan untuk merancang sekaligus mensimulasikan rangkaian elektronika analog dengan beragam analisis, seperti *AC analysis* dan *DC analysis*, kemudian *bode plot (frequency response & phase margin)*, *noise*, *transient*, dan lain sebagainya (Fuada, Putra, et al., 2017; Fuada, Adiono, et al., 2017; Fuada, Putra, et al., 2016). Berikutnya, *Quite Universal Circuit Simulator* (QUCS) yang merupakan simulator rangkaian elektronika terpadu berbasis SPICE yang dikembangkan melalui riset panjang oleh sekelompok ilmuan (M. E. Brinson & Jahn, 2009a; Jahn & Brinson, 2008). Versi simulator terbaru dirilis pada tanggal 22 Januari 2017, yaitu QUCS 0.0.19 (M. Brinson & Kuznetsov, 2016). Simulator ini bersisat *open-source* (Baser, 2006; M. E. Brinson & Jahn, 2009) yang dapat dijalankan secara *offline* pada beragam OS baik *official* (Linux, MAC, dan Windows) maupun *unofficial* (Solaris, FreeBSD, NetBSD, dsb). Tampilan GUI menarik dan mampu mensimulasikan beberapa aspek seperti analisis DC, analisis AC, S-Parameter, analisis *noise*, analisis *Transient*, analisis *Harmonic balance*, dan impor model SPICE yang mudah.

*LTS* adalah simulator *offline* turunan SPICE, sama halnya *Mu* dan *Pr*, namun gratis (*open-source*) sehingga legal digunakan oleh siapapun (Pouncey & Lehr, 2015; Vollrath, 2018). Sama halnya *TS*, *software LTS* ini dilengkapi beragam fitur analisis seperti *transient*, analisis AC, *DC sweep*, *noise*, dan lain sebagainya. Apabila tidak disediakan oleh *LTS*, komponen elektronika dalam model SPICE dapat diimpor dengan prosedur tertentu. Dalam mengoperasikan *LTS*, pengguna perlu memahami *guideline* terlebih dahulu karena sedikit tidak mudah dimengerti bagi pemula. *LTS* sangat *powerful* sehingga banyak dipakai untuk simulasi penelitian dibidang *circuitry* (Adiono et al., 2016; Fuada, Elmunsyah, et al., 2016; Ibrahim et al., 2016; Linggarjati, 2020), bahkan sektor edukasi (Citkuseva Dimitrovska et al., 2014).

*Physics Education Technology* (PhET) *Colorado* adalah salah satu simulator yang populer dikalangan mahasiswa ilmu matematika dan sains (Wieman et al., 2010), telah banyak digunakan oleh peneliti di Indonesia untuk meningkatkan *student learning outcomes* (Haryadi & Pujiastuti, 2020; Ki'i et al., 2021; Ruwiyah et al., 2021). *Software* ini didirikan oleh pemenang Nobel tahun 2002 yaitu *Laureate Carl Wieman*. *PhET* menyediakan simulasi interaktif untuk fenomena pada bidang matematika dan sains (fisika, kimia, biologi, kebumihan, dsb) secara gratis dan diakses secara *offline* (dengan syarat PC memiliki program *Flash* dan *Java*) untuk keperluan pendidikan (Wieman et al., 2008).

*SI* merupakan simulator rangkaian elektronika *offline*, ringan, *real-time*, dan bersifat *open-source* (Yang et al., 2020). *SI* dapat dicari unduhan *file master* di <https://www.simulide.com/p/home.html> untuk dijalankan pada OS Windows ataupun Linux. Selain rangkaian analog, *SI* juga dapat menjalankan simulasi rangkaian logika, Mikrokontroler keluarga Arduino, AVR, dan PIC meskipun tidak selengkap fitur pada *software Pr*. Simulator ini belum banyak dieksplorasi oleh peneliti sebagai objek riset sehingga pada penelitian ini akan dieksplorasi

sejauh mana performansinya dalam parameter analisis DC, yaitu tegangan listrik keluaran rangkaian pembagi tegangan.

Nilai  $V_{in}$  dibuat bervariasi untuk menghasilkan kesimpulan yang valid, yaitu 3V, 6V, dan 12V. Sementara untuk nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dipilih dari standar nilai resistor yang ada di pasaran secara *random*. Terdapat tiga kelompok uji, yaitu i)  $R_1 > R_2$ , ii)  $R_1 = R_2$ , dan iii)  $R_1 < R_2$ . Pada Tabel 1 ditampilkan ringkasan nilai  $R_1$  dan  $R_2$  untuk mewakili masing-masing kelompok uji.  $R_1$  dipilih 330  $\Omega$  dan  $R_2$  dipilih 390  $\Omega$  untuk merepresentasikan  $R_1 < R_2$  (kelompok uji i). Selanjutnya kelompok uji ii  $R_1 = 390 \Omega$  dan  $R_2 = 100 \Omega$ , dan kelompok uji iii yaitu nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dibuat sama, masing-masing 120  $\Omega$ .

Tabel.1 Data nilai Resistor untuk skenario I

Kelompok Uji	Nilai	
	$R_1$	$R_2$
Kelompok Uji I ( $R_1 > R_2$ )	330 $\Omega$	390 $\Omega$
Kelompok Uji II ( $R_1 < R_2$ )	390 $\Omega$	100 $\Omega$
Kelompok Uji III ( $R_1 = R_2$ )	120 $\Omega$	120 $\Omega$

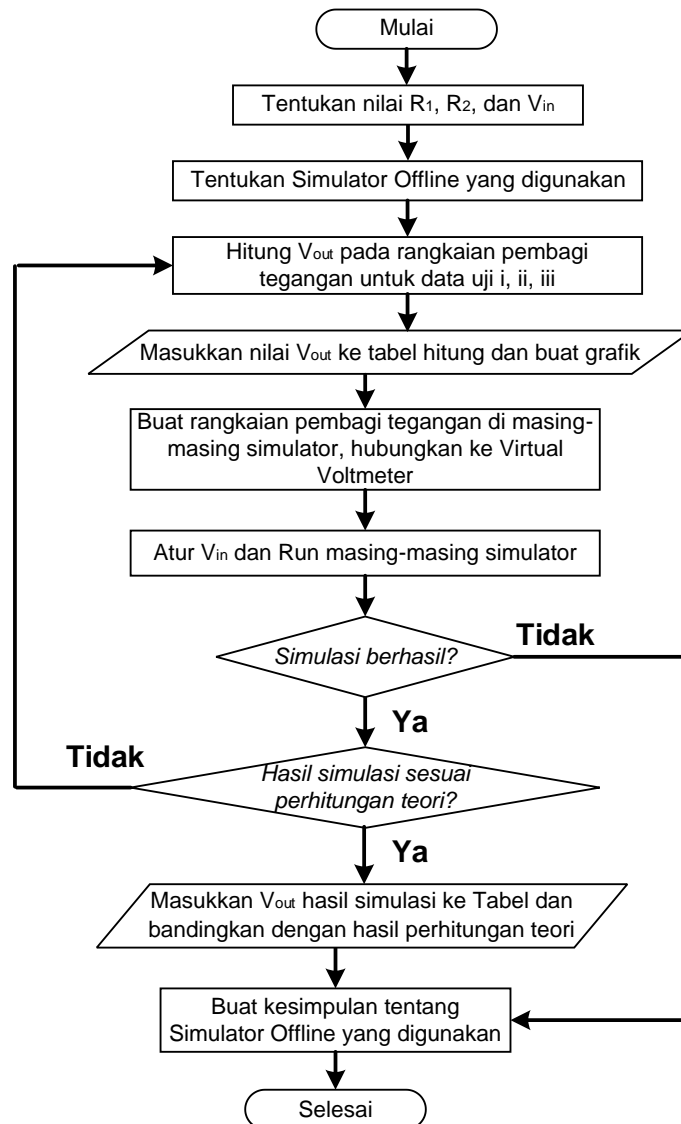
Setelah kelompok uji ditentukan, selanjutnya rangkaian seri dirangkai pada masing-masing simulator. Catu daya DC kemudian dihubungkan pada rangkaian dengan nilai yang telah ditentukan. Keluaran rangkaian pembagi tegangan dihubungkan ke Voltmeter. **Gambar 2** merupakan diagram alir untuk skenario I. Persamaan (1) merupakan rumus untuk mencari  $V_{out}$  dari rangkaian pembagi tegangan. Adapun detail penurunan persamaan ini dijabarkan pada (Boylestad, 2016; Fuada, 2021; Tooley, 2015).

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times V_{in} \dots\dots\dots (1)$$

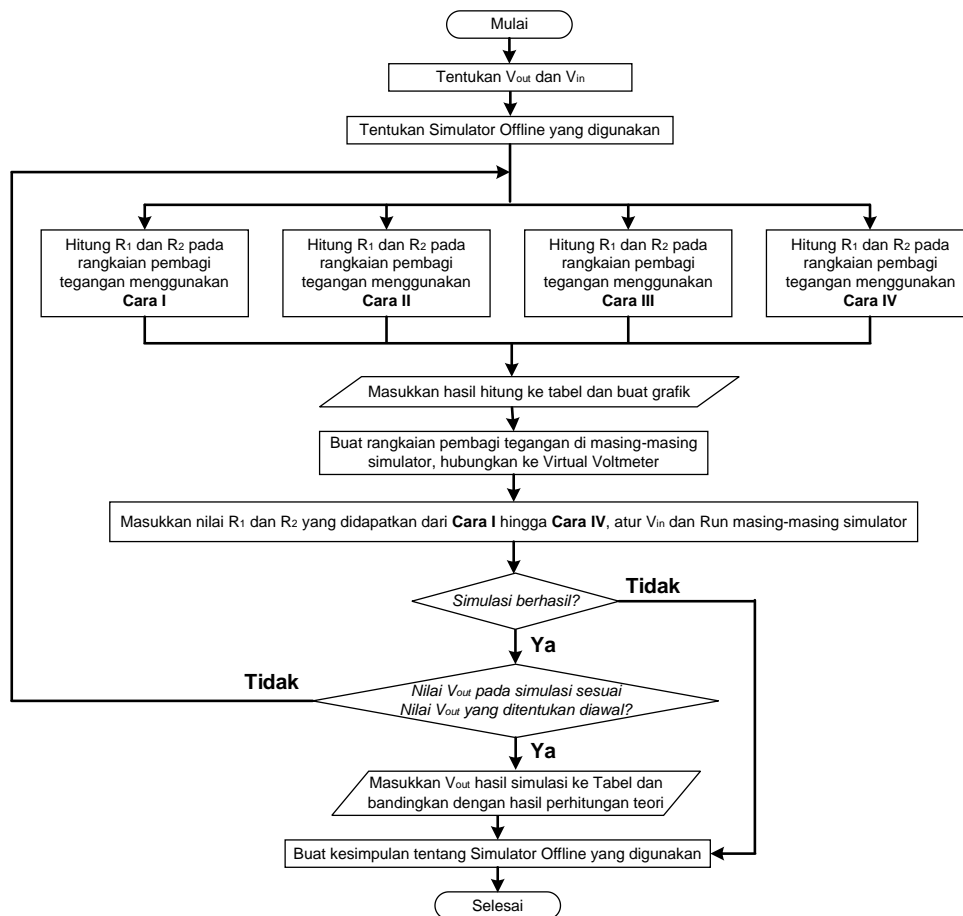
**b. Skenario II**

Pada skenario II, terlebih dahulu dilakukan pencarian nilai  $R_1$  dan  $R_2$  pada rangkaian pembagi tegangan dimana nilai  $V_{out}$  dan  $V_{in}$  telah ditentukan. Terdapat empat metode yang digunakan yang selanjutnya dilabel sebagai cara I, cara II, cara III, dan cara IV. Selanjutnya,  $V_{in}$  divariasikan dari 3V ke 12V. Sementara variasi nilai  $V_{out}$  dibuat *random*, yaitu 1.7V dan 0,7V. Kemudian, hasil perhitungan dari keempat cara tersebut dibandingkan dengan hasil simulasi dari kesebelas *software* yang digunakan. Diagram alir untuk proses pada Skenario II dapat dilihat pada **Gambar 3**. Dengan menurunkan persamaan (1), didapat cara I dan cara II untuk mencari kombinasi nilai  $R_1$  dan  $R_2$  (Fauzi et al., 2021; Fuada, 2021). Selanjutnya, terdapat dua cara lainnya berdasarkan investigasi yang dilakukan oleh (Fuada, 2021) dilabeli sebagai cara III dan cara IV.

Cara I	Cara II	Cara III	Cara IV
Jika $R_2 = 1000\Omega$	Jika $R_1 = 1000\Omega$		Jika $R_2 = V_{out}$
Maka:	Maka	$R_2 = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times 1000 \Omega$	Maka:
$R_1 = \frac{(V_{in}-V_{out})}{V_{out}} \times R_2$	$V_{out} = \frac{V_{out}}{(V_{in}-V_{out})} \times R_1$	$R_1 = 1000\Omega - R_2$	$R_1 = V_{in} - V_{out}$



Gambar 2. Flowchart menentukan nilai  $V_{out}$



Gambar 3. Flowchart menentukan nilai  $R_1$  dan  $R_2$

## Hasil dan Pembahasan

### a. Skenario I

Tabel 2 merupakan hasil perhitungan matematis pada skenario I dengan  $V_{in}$  yang berbeda, yaitu 3V, 6V, 12V. Rumus yang digunakan untuk mencari  $V_{out}$  mengacu pada persamaan (1). Selanjutnya, hasil perhitungan dibandingkan dengan  $V_{out}$  dari sebelas simulator jenis *offline*. Tabel 3 merupakan hasil simulasi untuk kelompok uji 1, 2, dan 3 secara berurutan dengan  $V_{in} = 3V$ . Berdasarkan pada data Tabel 3 didapatkan hasil komputasi pada simulator (**Gambar 4**). Simulator CW menawarkan dua antarmuka, yaitu *mode virtual (CWV)* dan *mode skematik (CW)*. Grafik hasil skenario I diringkas pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Semua simulator menawarkan GUI yang *user friendly* bagi pengguna.

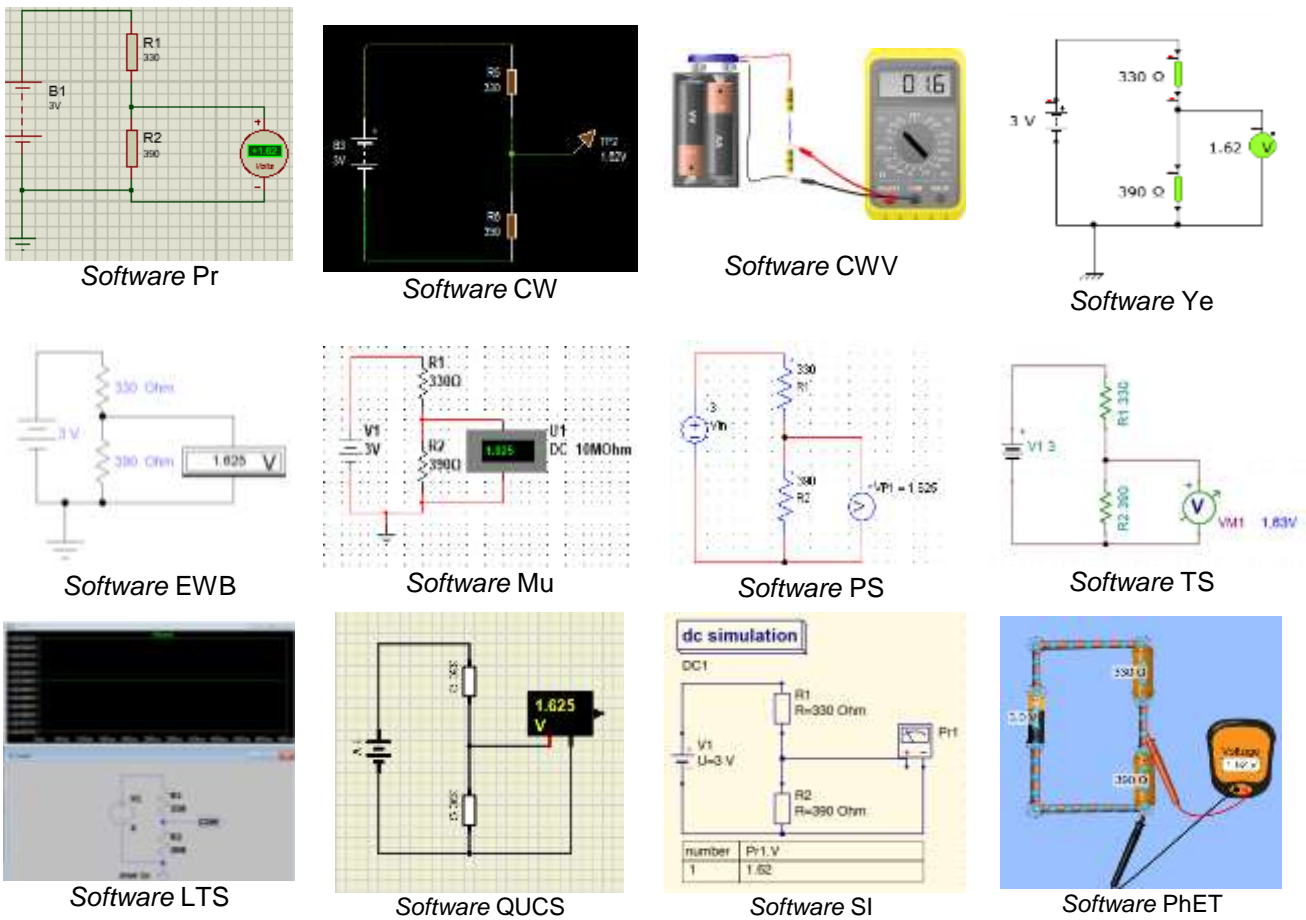
Tabel 2. Hasil Perhitungan  $V_{out}$  dari Rangkaian Pembagi Tegangan

No.	$V_{in}$	Uji Kelompok i	Uji Kelompok ii	Uji Kelompok iii
1.	3V	$V_{out} = \frac{390}{330 + 390} \times 3$ $= \frac{1170}{720} = 1,625 \text{ V}$	$V_{out} = \frac{100}{390 + 100} \times 3$ $= \frac{300}{490} = 0,612 \text{ V}$	$V_{out} = \frac{120}{120 + 120} \times 3$ $= \frac{360}{240} = 1,5V$
2.	6V	3,25V	1,224V	3V
3.	12V	6,50V	2,448V	6V

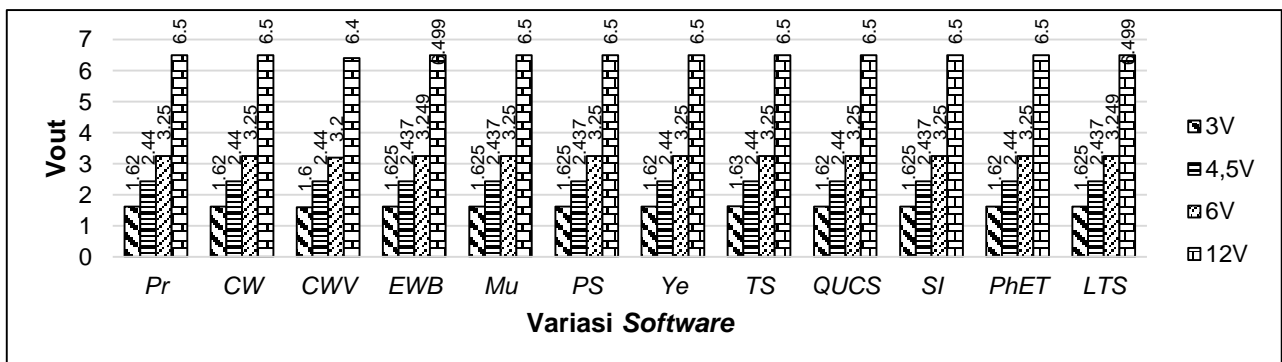


Tabel 3. Hasil pengukuran  $V_{out}$  dari rangkaian pembagi tegangan secara simulasi untuk Kelompok Uji i, ii, dan iii ( $V_{in} = 3V$ )

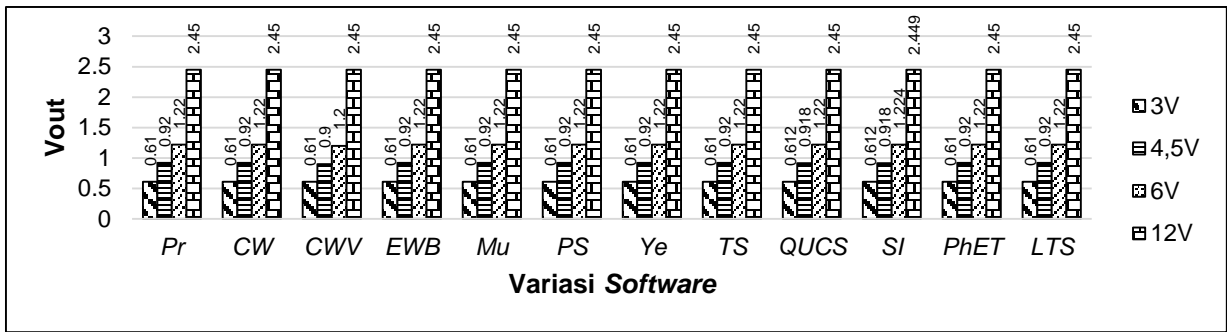
Uji Kelompok	Software								
	Pr, CW, PhET	CWV	EWB, LTS	Mu	PS	Ye	TS	QUCS	SI
i	1,62 V	1,6 V	1,625 V	1,625 V	1,625 V	1,62 V	1,63 V	1,62 V	1,625 V
ii	0,61 V	0,6 V	612 mV	0,612 V	0,61224 V	612 mV	612,24 mV	0,612 V	612,2 mV
iii	1,50 V	1,5 V	1,500 V	1,5 V	1,5 V	1,50 V	1,5 V	1,5 V	1,500 V



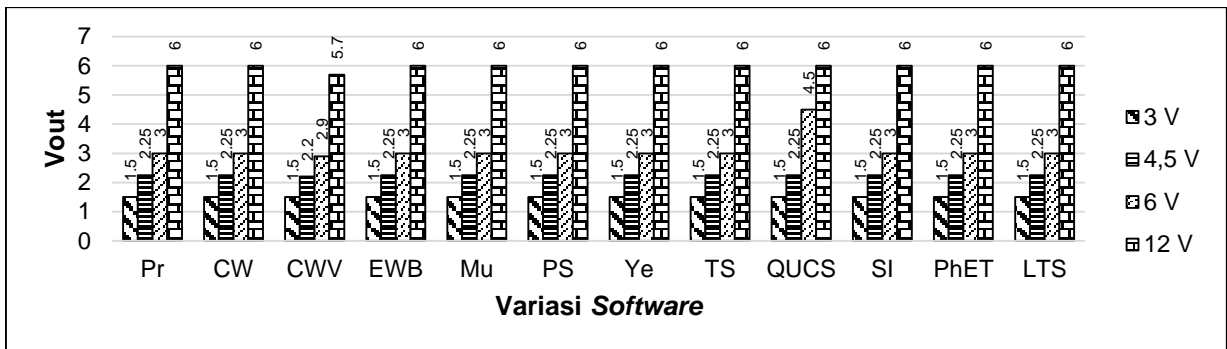
Gambar 4. Tampilan rangkaian pembagi tegangan pada simulasi yang berbeda untuk  $V_{in} = 3V$  pada kelompok uji i



Gambar 5. Grafik data Uji I ( $R_1 = 330 \Omega$ ,  $R_2 = 390 \Omega$ ) dengan variasi  $V_{in}$



Gambar 6. Grafik data Uji II ( $R_1 = 390 \Omega, R_2 = 100 \Omega$ ) dengan variasi  $V_{in}$



Gambar 7. Grafik data Uji III ( $R_1 = 120 \Omega, R_2 = 120 \Omega$ ) dengan variasi  $V_{in}$

Berdasarkan eksperimen yang telah dilaksanakan, seluruh simulator mampu melakukan komputasi  $V_{out}$  dengan akurasi hampir 100%, atau sesuai dengan perhitungan teori. Beberapa simulator menghasilkan nilai dengan koma seperti pada simulator  $Pr = 0,61V$  dan simulator  $EWB = 612 mV$ . Kemudian simulator  $PS = 0,61224V$ ,  $Ye = 612 mV$ ,  $TS = 612,24 mV$ ,  $QUCS = 1,62 V$ ,  $LTS = 612 mV$ ,  $SI = 1,625 V$ ,  $PhET = 1,62 V$  (Gambar 6). Meskipun demikian, ketika dibulatkan akan tetap bernilai sama, yaitu sekitar 0,61 V. Hasil simulasi pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 merepresentasikan data perbandingan hasil perhitungan dengan simulasi pada skenario I untuk data uji i, ii, dan iii. Dengan demikian, untuk data  $V_{in} = 6V$  dan  $12V$  tidak dilakukan simulasi karena telah diwakili oleh  $V_{in} = 3V$ . Dapat dipastikan, hasilnya akan sama (hitungan = simulasi) dan hanya berbeda digit serta jumlah angka dibelakang koma.

## b. Skenario II

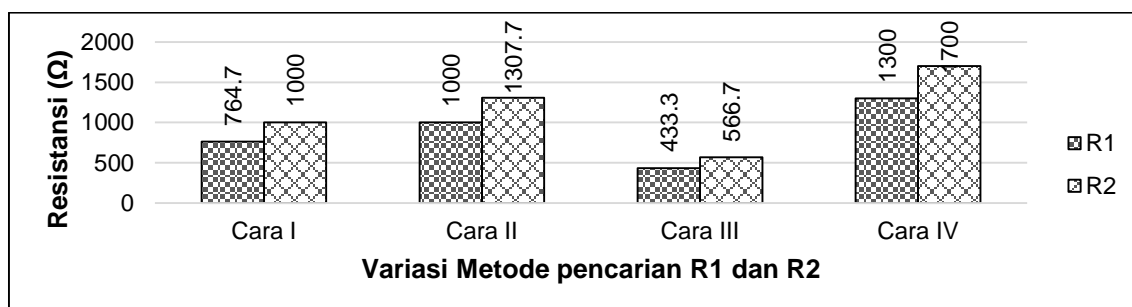
Tabel 4 merupakan nilai  $R_1$  dan  $R_2$  yang didapatkan dari perhitungan teori dengan empat cara yang berbeda untuk  $V_{out} = 1.7V$ . Gambar 8 merupakan visualisasi grafik dari Tabel 4. Untuk Cara IV, hasil tegangan dikalikan dengan 1000 sehingga didapatkan nilai resistor yang lebih mudah ditemukan dipasaran karena hasilnya satuan dan koma, sebagai contoh  $R_1$  didapatkan  $1,3\Omega$  yang mana nilai ini sukar ditemukan dipasaran. Akan lebih mudah apabila dikali 1000 sehingga menghasilkan  $1300 k\Omega$  atau  $1k3 \Omega$  (seri  $1,2 k\Omega$  dengan  $100 \Omega$ ). Nilai  $V_{in}$  kemudian diubah ke  $12V$  sehingga nilai  $R_1$  dan  $R_2$  juga berubah, hasil komputasinya disajikan pada Gambar 9. Nilai  $V_{out}$  kemudian diturunkan ke  $0.7V$  dan nilai  $V_{in}$  divariasikan, yaitu  $3V$  dan  $12V$ . Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 10, dan Gambar 11.

Berdasarkan pada hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan informasi bahwa kombinasi nilai  $R_1$  dan  $R_2$  yang berbeda (didapat dari empat cara) akan menghasilkan setiap  $V_{out}$  yang beragam. Cara IV merupakan yang paling efektif, karena menghasilkan  $R_1$  dan  $R_2$  yang

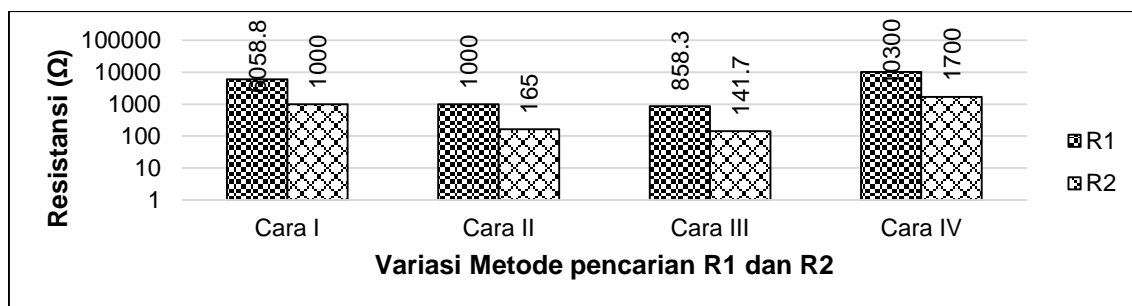
paling mudah dicari dibandingkan ketiga cara lain yang menghasilkan angka yang sulit serta banyak koma.

Tabel 4. Hasil perhitungan teori nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dengan  $V_{out} = 1.7V$  dan  $V_{in} = 3V$

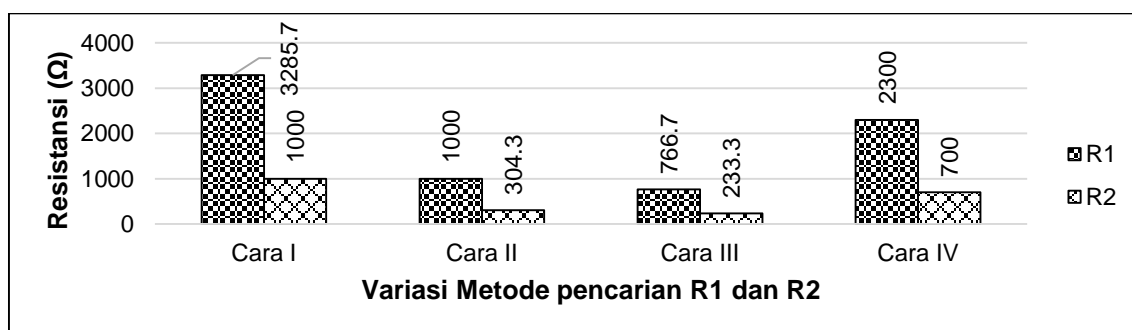
No.	Cara I	Cara II	Cara III	Cara IV
1.	<p>Jika <math>R_2 = 1000</math></p> $R_1 = \frac{(V_{in}-V_{out})}{V_{out}} \times R_2$ $R_1 = \frac{(3-1,7)}{1,7} \times 1000$ $R_1 = 764,7 \Omega$	<p>Jika <math>R_1 = 1000</math></p> $R_2 = \frac{(V_{out} \times R_1)}{(V_{in} - V_{out})}$ $R_2 = \frac{(1,7 \times 1000)}{(3 - 1,7)}$ $R_2 = 1307 \Omega$	$R_2 = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times 1000 \Omega$ $R_1 = 1000\Omega - R_2$ $R_2 = \frac{1,7}{3} \times 1000$ $R_2 = 566,7 \Omega$ $R_1 = 1000 - 566,7$ $R_1 = 433,3 \Omega$	<p>Jika <math>R_2 = V_{out}</math></p> <p>Maka:</p> $R_1 = V_{in} - V_{out}$ $R_2 = 1,7 \Omega$ $R_1 = 3 - 1,7$ $R_1 = 1,3 \Omega$



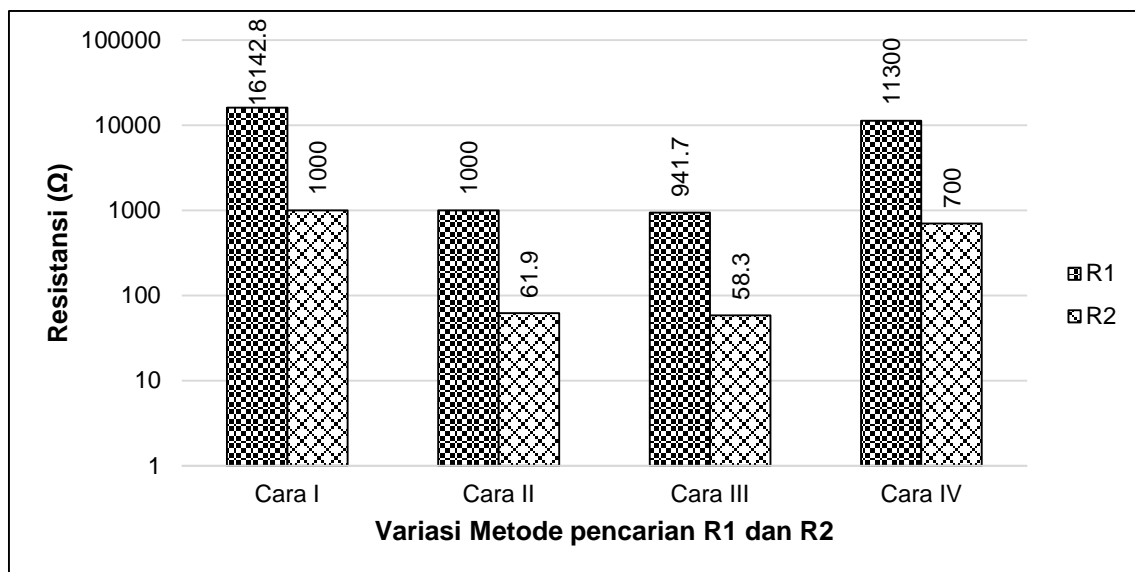
Gambar 8. Hasil perhitungan teori nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dengan  $V_{out} = 1.7V$  dan nilai  $V_{in} = 3V$



Gambar 9. Hasil perhitungan teori nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dengan  $V_{out} = 1.7 V$  dan nilai  $V_{in} = 12 V$

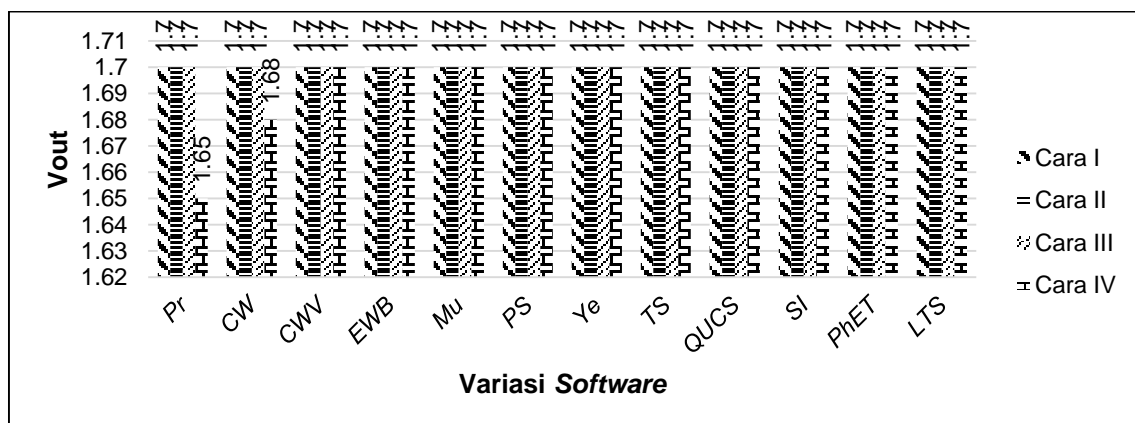


Gambar 10. Hasil perhitungan teori nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dengan  $V_{out} = 0.7 V$  dan nilai  $V_{in} = 3 V$

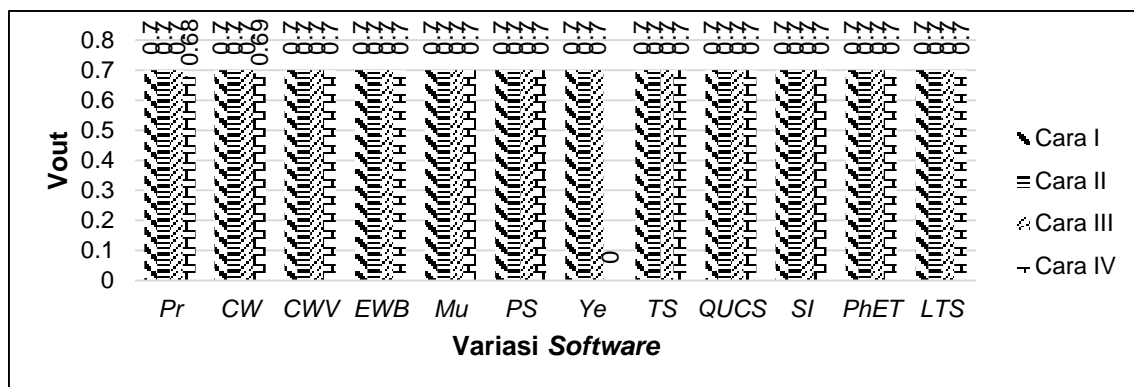


Gambar 11. Hasil perhitungan teori nilai  $R_1$  dan  $R_2$  dengan  $V_{out} = 0.7$  V dan nilai  $V_{in} = 12$  V

Pada eksperimen berikutnya, nilai  $R_1$  dan  $R_2$  yang telah didapatkan dimasukkan kedalam rangkaian pembagi tegangan dan kemudian  $V_{out}$  diperiksa apakah sama dengan nilai awal atau tidak. Gambar 12 merupakan grafik hasil pengukuran  $V_{out}$  dengan  $V_{in} = 3$  V. Nilai  $R_1$  dan  $R_2$  mengikuti Gambar 8, yaitu cara I ( $R_1 = 764,7 \Omega$ ,  $R_2 = 1000 \Omega$ ), cara II ( $R_1 = 1000 \Omega$ ,  $R_2 = 1307 \Omega$ ), cara III ( $R_1 = 433,3 \Omega$ ,  $R_2 = 566,7 \Omega$ ), dan cara IV ( $R_1 = 1700 \Omega$ ,  $R_2 = 1300 \Omega$ ). Gambar 13 merupakan grafik hasil pengukuran  $V_{out}$  dengan  $V_{in} = 3$  V. Nilai  $R_1$  dan  $R_2$  mengikuti Gambar 10, yaitu cara I ( $R_1 = 3285,7 \Omega$ ,  $R_2 = 1000 \Omega$ ), cara II ( $R_1 = 1000 \Omega$ ,  $R_2 = 304,3 \Omega$ ), cara III ( $R_1 = 766,7 \Omega$ ,  $R_2 = 233,3 \Omega$ ), dan cara IV ( $R_1 = 2300 \Omega$ ,  $R_2 = 700 \Omega$ ). Nol pada grafik menunjukkan bahwa terdapat *error* pada rangkaian saat dilakukan simulasi.



Gambar 12. Pembuktian Nilai  $V_{out}$  dengan  $R_1$  dan  $R_2$  yang diperoleh dari Cara I, Cara II, Cara III, dan Cara IV Pada Variasi Software ( $V_{in} = 3$  V)



Gambar 13. Pembuktian Nilai  $V_{out}$  dengan  $R_1$  dan  $R_2$  yang Didapatkan dari Cara I, Cara II, Cara III, dan Cara IV Pada Variasi *software* ( $V_{in} = 3V$ )

Berdasarkan Gambar 12 dan Gambar 13, hasil komputasi  $V_{out}$  telah sesuai ekspektasi yaitu 1,7V dan 0,7V dengan nilai  $R_1$  dan  $R_2$  yang didapatkan dari empat cara yang berbeda. Rangkaian pembagi tegangan dapat membagi  $V_{in}$  menjadi satu titik  $V_{out}$  atau lebih, yang nilainya lebih kecil dari  $V_{in}$  (Boylestad, 2016). Hampir semua simulator dapat dimasukkan nilai  $R$  yang *random* atau tidak. Meskipun demikian, terdapat simulator yang menunjukkan *error*, dimana hasil resistor terbakar yaitu pada simulator *Ye*. *Software* ini tidak dapat menerima nilai resistor sembarang dan/atau nilai resistor melebihi batas kemampuan perhitungan dari simulator tersebut. Kesebelas simulator menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh dengan perhitungan teoretis. Hasil ini mengkonfirmasi penelitian (Utomo et al., 2021) bahwa simulator dapat membantu dalam melakukan komputasi  $V_{out}$  dari suatu rangkaian pembagi tegangan. Penelitian (Utomo et al., 2021) menggunakan pendekatan simulator *online* dengan penyajian data berupa tabel sehingga sulit untuk dibaca. Pada studi ini, penyajian hasil penelitian dalam bentuk grafik lebih mempermudah pembaca untuk memahami inti dari penelitian yang dilakukan.

Setiap *software* yang digunakan memiliki format atau ketelitian *input* nilai berbeda. Terdapat simulator dengan *input* nilai yang secara langsung dapat ditulis, ada yang harus diatur dahulu berapa satuannya. Hal tersebut mempengaruhi nilai *output* dan menjadikan sedikit perbedaan nilai *output* pada setiap *software*. Meskipun demikian, semua *software* yang digunakan tersebut cukup mudah untuk digunakan bagi pemula karena memuat beberapa simbol-simbol komponen yang telah terstandar. Seperti misalnya, *Software Mu* yang mampu menyediakan lebih dari 1700 jenis elemen dan dapat diedit atau dimodifikasi komponennya dengan berbagai parameter dan nilai aktual (Guan & Zhou, 2017). Contoh lain pada *Software EWB* yang menggunakan sistem GUI mirip *Windows* sehingga *user* yang sudah mengetahui dasar pengetahuan elektronika akan mudah menggunakannya (Hutagalung et al., 2020). Meskipun hampir semua simulator memiliki tingkat akurasi 100% seperti perhitungan teori, untuk analisis DC (dalam hal tegangan listrik), terdapat satu *Software* dengan akurasi sekitar 98%, yaitu *CWV*. Letak perbedaan tersebut berada pada dua angka di belakang koma angka utama, misalnya seharusnya  $V_{out} = 1,80V$  dan ketika menggunakan *Software CWV* dengan  $V_{out} = 1,77V$ . Selisihnya sekitar 0,01V - 0,12V sesuai dengan masing-masing  $R_1$ ,  $R_2$ , dan  $V_{in}$  yang disediakan.

Kemudian pada *software LTC* dalam mensimulasikan  $V_{out}$  disajikan dalam grafik (*DC Transient*) dan harus diperbesar *y-axis* untuk melihat nilai  $V_{out}$  dengan ketelitian tinggi, *x-axis* menunjukkan waktu dalam grafik (dipilih 1s). Grafik stabil pada titik  $V_{out}$  rangkaian pembagi tegangan seiring waktu karena merupakan sinyal DC. Pada simulator *QUCS*, jika resistor bernilai lebih dari 3 digit, maka otomatis satuan resistor akan naik. Sebagai contoh apabila nilai sebelumnya adalah Ohm, maka yang tertera pada resistor akan memiliki satuan kilo Ohm. Untuk

melihat hasil  $V_{out}$ , pengguna harus menambahkan tabular baik pada *page* yang sama dengan rangkaian maupun *page* berbeda. Sementara pada simulator *PhET*, terdapat keterbatasan pada nilai resistornya, yaitu hanya menerima nilai dari rentang 0 – 1000 $\Omega$ . Apabila nilai resistor masih dibawah 120 $\Omega$  maka pengguna dapat menentukan nilai resistor dengan bebas dalam rentang hingga 1k $\Omega$  sesuai dengan kebutuhan. Apabila nilai dari resistor yang di-*input* melebihi 120 $\Omega$ , maka pengguna hanya bisa memasukkan nilai resistor dengan kelipatan 10.

Semua simulator dapat digunakan untuk keperluan edukasi (Wahyuni, 2020), yaitu mampu membantu dalam memberikan pengetahuan awal kepada peserta didik sebelum masuk ke laboratorium nyata, meminimalisir kerusakan alat-alat lab, solusi pembelajaran praktik jarak jauh terutama saat pandemi Covid-19, menguatkan pemahaman terhadap konsep tertentu, dan membantu untuk mengeksplorasi rangkaian yang lebih kompleks. Pada penelitian berikutnya, diperlukan perbandingan yang lebih komprehensif antara hasil perhitungan teori terhadap hasil simulasi menggunakan *software* jenis *offline* dan *online*, serta hasil praktikum *real*. Nilai  $V_{out}$  pada eksperimen *real* nantinya akan berbeda dengan simulator karena *software* pada dasarnya adalah melakukan komputasi hasil ideal atau sesuai teori (Fuada & Aquari, 2013; Utomo et al., 2021). Komponen *real* tidak ideal, terutama perbedaan yang signifikan antara resistor jenis *metalfilm* dan *carbon film* (Fuada, 2021).

## Kesimpulan

Rangkaian pembagi tegangan telah dieksplorasi dengan baik yang ditinjau dari parameter nilai  $V_{out}$  (skenario I) dan kombinasi  $R_1 - R_2$  (skenario II) melalui perhitungan teoretis, selanjutnya dibandingkan dengan media simulator. Empat metode pencarian  $R_1$  dan  $R_2$  telah terbukti dapat menghasilkan  $V_{out}$  sesuai keinginan, namun hanya satu metode yang menghasilkan kombinasi  $R_1 - R_2$  yang paling sesuai. Hal ini dikarenakan nilai yang diperoleh melalui rangkaian seri atau parallel Resistor yang tersedia dipasaran. Sebelas simulator *offline* digunakan untuk mengeksplotasi rangkaian pembagi tegangan, yaitu *Pr*, *CW*, *EWB*, *Mu*, *PS*, *Ye*, *TS*, *QUCS*, *LTS*, *SI*, dan *PhET*. Hasil dari kedua skenario telah berhasil mengkonfirmasi kebenaran dari teori rangkaian pembagi tegangan. Pada penggunaan berbagai macam perangkat lunak yang tersedia, dapat ditarik kesimpulan bahwa simulator mampu digunakan untuk analisis DC, dalam hal ini adalah menghasilkan  $V_{out}$  dengan tingkat akurasi yang baik, yaitu hampir 100% dimana hasil perhitungan sama dengan hasil simulasi. Semua simulator menawarkan GUI yang baik dan instrumen yang mudah diakses. Dilihat dari parameter pengukuran analisis DC, untuk parameter “tegangan listrik”, semua simulator bisa direkomendasikan. Meskipun terdapat perbedaan nilai komputasi, selisihnya tidak terlalu signifikan.

Sebagai implikasinya, hasil dari penelitian ini dapat digunakan mahasiswa untuk memberikan pengetahuan lebih dalam tentang rangkaian pembagi tegangan sekaligus mengenalkan simulator yang dapat dimanfaatkan dalam eksperimen secara virtual. Pada penelitian berikutnya, disarankan untuk menggunakan lebih banyak *software* untuk mensimulasikan rangkaian pembagi tegangan dan tentunya yang gratis akses. Berkaitan dengan simulator, diperlukan evaluasi dengan parameter analisis DC maupun AC atau lainnya, seperti pengukuran “arus listrik” dan “frekuensi” sehingga tidak hanya “tegangan listrik” saja.

## Referensi

Adiono, T., Pradana, A., Putra, R. V. W., & Fuada, S. (2016). Analog filters design in VLC analog front-end receiver for reducing indoor ambient light noise. *2016 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, 581–584.

- <https://doi.org/10.1109/APCCAS.2016.7804058>
- Báez-López, D., & Guerrero-Castro, F. E. (2011). Circuit Analysis with Multisim. *Synthesis Lectures on Digital Circuits and Systems*, 6(3), 1–198. <https://doi.org/10.2200/S00386ED1V01Y201109DCS035>
- Baser, M. (2006). Promoting conceptual change through active learning using open source software for physics simulations. *Australasian Journal of Educational Technology*, 22(3), Article 3. <https://doi.org/10.14742/ajet.1290>
- Bednar, T., Borik, S., & Babusiak, B. (2020). Active electrode circuits for capacitively coupled measurements. 2020 *ELEKTRO*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ELEKTRO49696.2020.9130284>
- Boylestad, R. L. (2016). *Introductory Circuit Analysis* (13th ed.). Pearson Education Limited.
- Brinson, M. E., & Jahn, S. (2009). Qucs: A GPL software package for circuit simulation, compact device modelling and circuit macromodelling from DC to RF and beyond. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 22(4), 297–319. <https://doi.org/10.1002/jnm.702>
- Brinson, M. E., & Jahn, S. (2009). Compact device modeling for established and emerging technologies with the Qucs GPL circuit simulator. *2009 MIXDES-16th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits Systems*, 39–44.
- Brinson, M., & Kuznetsov, V. (2016). Qucs-0.0.19S: A new open-source circuit simulator and its application for hardware design. *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/SIBCON.2016.7491696>
- Budiyanta, N. E., Darmawan, I. A., Sarah, A., Mulyadi, M., Tanudjaja, H., & Widiarto, S. O. B. (2020). Line follower robot module design for increasing student comprehension in robotics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(3), 032064. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/3/032064>
- Chen, S., Shen, J., You, X., Chen, J., & Yu, C. (2018). A Dynamic Cryptography Door Lock System Based on Visible Light Communication. *2018 23rd Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/OECC.2018.8730080>
- Citkuseva Dimitrovska, B., Kukuseva, M., & Cingoski, V. (2014). LTspice IV as Educational Tool for Teaching Electrical Circuit Analysis. In *Informaciske Tehnologije* (Vol. 19, pp. 205–208). Univerzitet Crne Gore, Elektrotehnicki fakultet. <https://eprints.ugd.edu.mk/9851/>
- Darmana, T., & Koerniawan, T. (2017). Perancangan Rangkaian Penguat Daya dengan Transistor. *Jurnal Ilmiah Sutet*, 7(2), 88–92. <https://doi.org/10.33322/sutet.v7i2.81>
- Darmawan, B., & Rijanto, T. (2019). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Problem Based Learning Berbantuan Media Circuit Wizard pada Mata Pelajaran Dasar Listrik dan Elektronika di SMK Negeri 1 Pungging Mojokerto. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 8(2), 269–275.
- Dewi, D. P., Fuada, S., Nugroho, P. T., Kholidatuzzahra, Z., & Afionita, D. (2021). Teaching IC Timer through simulation for future STEM teacher. *Journal of Physics: Conference Series*, 1987(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1987/1/012004>
- Djalal, M. R., & Rahmat, R. (2020). Characteristic Test of Diode Based Multisim Software. *PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(1), 1–5. <https://doi.org/10.33387/protek.v7i1.1213>
- Fauzi, S., Fuada, S., Sari, N. T. A., & Emaniar, T. (2021). Preliminary design of an Android-based Voltage Divider Calculator to support extracurricular program in elementary school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1987(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1987/1/012001>
- Findiatmaja, K., Hartono, H., & Aziz, A. N. (2021). Rancang bangun sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan berbasis resistor variabel. *Jurnal Teras Fisika: Teori, Modeling, Dan Aplikasi Fisika*, 4(1), 208–212. <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2021.4.1.4120>
- Fuada, S. (2015). Perancangan Broadband RF Power Amplifier 2,3 GHz pada 4G LTE Time Division Duplex. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 4(3), 182–187. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v4i3.161>
- Fuada, S. (2017). Perancangan Sistem Kontrol Pada Prototip Pengereng Kerupuk Berbasis IC Digital Menggunakan Software Proteus 7.0. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 6(1), 88–96. <https://doi.org/10.36055/setrum.v6i1.531>
- Fuada, S. (2021). *Elektronika Dasar untuk Mahasiswa Teknik Telekomunikasi: Pendekatan Praktik Secara Virtual* (2nd ed.). Media Edukasi Indonesia.

- Fuada, S., Adiono, T., Ismail, F., & Setiawan, E. (2020). Prototyping the Li-Fi System Based on IEEE 802.15.7 PHY.II.1 Standard Compliance. *Journal of Communications*, 15(6), 519–527. <https://doi.org/10.12720/jcm.15.6.519-527>
- Fuada, S., Adiono, T., Putra, A. P., & Aska, Y. (2017). Noise Analysis in VLC Optical Link based Discrete OP-AMP Trans-impedance Amplifier (TIA). *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 15(3), 1012–1021. <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v15i3.5737>
- Fuada, S., & Aquari, F. T. (2013). Square Wave Generator Circuit Analysis using MATLAB Approach. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 2(2), 371–382.
- Fuada, S., Elmunsyah, H., & Suwasono, S. (2016). Design and Fabrication of LC-Oscillator Tool Kits Based Op-Amp for Engineering Education Purpose. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 1(1), 88–100. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v1.i1.pp88-100>
- Fuada, S., Lawu, B. L., & Basavarajappa, B. K. (2020). Buffering Supercapacitor Mechanism based on Bidirectional DC/DC Converter for Mini All-Terrain Vehicle Application. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(4), 244–251. <https://doi.org/10.25046/aj050430>
- Fuada, S., Putra, A. P., Aska, Y., & Adiono, T. (2017). A First Approach to Design Mobility Function and Noise Filter in VLC System Utilizing Low-cost Analog Circuits. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT (IJES)*, 5(2), 14–30.
- Fuada, S., Putra, A. P., Aska, Y., & Adiono, T. (2016). Trans-impedance amplifier (HA) design for Visible Light Communication (VLC) using commercially available OP-AMP. *2016 3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, 31–36. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892405>
- Guan, Y., & Zhou, F. (2017). *Research on hardware virtual simulation based on Multisim*. 234–237. <https://doi.org/10.2991/icmia-17.2017.43>
- Handoko, H., Suharto, H., & Kristiadjie, H. (2017). Alat Ukur Karakteristik Kurva Bipolar Junction Transistor Berbasis Personal Computer. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 17(1), 52–68. <https://doi.org/10.24912/tesla.v17i1.272>
- Haryadi, R., & Pujiastuti, H. (2020). PhET simulation software-based learning to improve science process skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(2), 022017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/2/022017>
- Hryhorova, T. (2017). Review of modern strategies and tools that provide an application of the competence approach in the system of high education. *2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 352–355. <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248930>
- Hutagalung, S. N., Yanny, A., & Hutabarat, S. A. (2020). *Pelatihan Electronic Workbench (EWB) Dalam Pembelajaran Fisika Bagi Siswa/i di SMA Citra Harapan Percut*. 1(1), 9–11.
- Ibhaze, A. E., Edeko, F. O., & Orukpe, P. E. (2020). A Signal Amplification-based Transceiver for Visible Light Communication. *Journal of Engineering*, 26(11), 123–132. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.11.08>
- Ibrahim, M. N., Soh, Z. H. C., Hamzah, I. H., & Othman, A. (2016). A Simulation of Single Stage BJT Amplifier Using LTspice. *E-Academia Journal*, 5(2). <https://myjms.mohe.gov.my/index.php/JeA/article/view/1442>
- Jahn, S., & Brinson, M. E. (2008). Interactive compact device modelling using Qucs equation-defined devices. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 21(5), 335–349. <https://doi.org/10.1002/jnm.676>
- Jannah, F. R., Fuada, S., Putri, H. E., Zanah, F. W., & Pratiwi, W. (2021). Teaching analog Line-Follower (LF) robot concept through simulation for elementary students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1987(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1987/1/012046>
- Khader, S., Hadad, A., & Abu-aisheh, A. A. (2011). The application of PSIM amp; Matlab/ Simulink in power electronics courses. *2011 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 118–121. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2011.5773124>
- Ki'i, O. A., Dewa, E., & Begu, P. O. (2021). Persepsi Mahasiswa terhadap Pelaksanaan Praktikum Elektronika Dasar II secara Virtual di Masa Pandemi COVID-19. *Jurnal Riset Teknologi Dan Inovasi Pendidikan (Jartika)*, 4(1), 75–80.



- Kodama, M., & Haruyama, S. (2017). A Fine-Grained Visible Light Communication Position Detection System Embedded in One-Colored Light Using DMD Projector. *Mobile Information Systems*, 2017, e9708154. <https://doi.org/10.1155/2017/9708154>
- Larasati, R. S. (2021). *Pengaruh Sosial Media Marketing dan Electronic Word of Mouth (EWOM) Terhadap Minat Beli Mie Kober Bromo Malang* [Skripsi, D-IV Manajemen Pemasaran, Politeknik Negeri Malang]. <https://repository.polinema.ac.id/collection/detail?id=doc202109000333&year=2021&author=larasati%2cr.s&title=pengaruh-sosial-media-marketing-dan-electronic-word-of-mouth-ewom-terhadap-minat-beli-mie-kober-bromo-malang>
- Lawu, B. L., Fuada, S., Ramadhan, S., Sabana, A. F., & Sasongko, A. (2017). Charging supercapacitor mechanism based-on bidirectional DC-DC converter for electric ATV motor application. *2017 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)*, 129–132. <https://doi.org/10.1109/ISESD.2017.8253318>
- Li, H., Zhao, M., Zhang, Y., Su, X., & Jiang, H. (2018). Application of Proteus Simulation in Electronic and Information Engineering Specialty. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 227–231. <https://doi.org/10.2991/icemaess-18.2018.48>
- Li, Y., & Zhang, L. (2011). The application of Proteus in teaching of microcomputer principle. *2011 International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)*, 1770–1772. <https://doi.org/10.1109/CSSS.2011.5974943>
- Li, Z., Li, X., Jiang, D., Bao, X., & He, Y. (2020). Application of Multisim Simulation Software in Teaching of Analog Electronic Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1544(1), 012063. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1544/1/012063>
- Lingarjati, J. (2020). DC Motor Simulation using LTSpice. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 426(1), 012137. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/426/1/012137>
- Mafudi, I., & Handhika, J. (2021). Virtual Laboratory: Using Electronic Workbench as Alternative Learning Physics in Covid-19 Mass Pandemic. *Impulse: Journal of Research and Innovation in Physics Education*, 1(1), 42–49. <https://doi.org/10.14421/impulse.2021.11-05>
- Mancharkar, A. V. (2013). Performance Comparison of Astable Multivibrator Circuit Using Various Circuit Designing SPICE Softwares. *Online International Interdisciplinary Research Journal*, 3(November), 87–94.
- Mehar, H. (2013). The Case Study of Simulation of Power Converter Circuits Using Psim Software in Teaching. *American Journal of Educational Research*, 1(4), 137–142. <https://doi.org/10.12691/education-1-4-4>
- Nawali, D. E., Sompie, S. R. U. A., & Novi M. Tulung, N. M. (2015). Rancang Bangun Alat Penguras Dan Pengisi Tempat Minum Ternak Ayam Berbasis Mikrokontroler Atmega 16. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, 4(7), 25–34. <https://doi.org/10.35793/jtek.4.7.2015.10591>
- Noga, K. M., & Palczynska, B. (2018). The Simulation Laboratory Platform Based on Multisim for Electronic Engineering Education. *2018 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSES)*, 269–274. <https://doi.org/10.1109/ICSES.2018.8507313>
- Nugroho, P. T., Dewi, D. P., Fuada, S., Putri, H. E., Jannah, F. R., & Zanah, F. W. (2021). Teaching sine wave concept through simulation for elementary school students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1987(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1987/1/012044>
- Nurhayati, N., & Maisura, B. (2021). Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Nyala Lampu dengan Menggunakan Sensor Cahaya Light Dependent Resistor. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 5(2), 103–122. <https://doi.org/10.22373/crc.v5i2.9719>
- Nurhidayah, S., Aribowo, D., & Desmira, D. (2020). Penerapan Aplikasi Simulasi Electronic Workbench dan Proteus pada Materi Penerapan Rangkaian Elektronika bagi Siswa Kelas XI Teknik Elektronika Industri. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(2), 120–128. <https://doi.org/10.21831/jee.v4i2.35331>
- Pouncey, J. C., & Lehr, J. M. (2015). A spark gap model for LTSpice and similar circuit simulation software. *2015 IEEE Pulsed Power Conference (PPC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PPC.2015.7296883>
- Pratiwi, W., Fuada, S., Zanah, F. W., & Restyasari, N. (2021). Analisis Rangkaian Wheatstone Bridge Menggunakan Simulator Circuit Wizard, Proteus, dan Multisim. *Telecommunications, Networks, Electronics, and Computer Technologies (TELNECT)*, 1(1), 1–13.

- Ptak, P. (2018). Application of Multisim And LTSpice Software Packages to Simulate the Operation of Electronic Components as an Alternative to Measurements of Real Elements. *SOCIETY. INTEGRATION. EDUCATION. Proceedings of the International Scientific Conference*, 5, 409–419. <https://doi.org/10.17770/sie2018vol1.3120>
- Puspasari, M. (2013). *Evaluasi Jangkauan, Frekuensi dan Dampak Kegiatan Promosi Pada Ria Djenaka Good Food With Coffe Mood Jalan Bandung Kota Malang* [Skripsi, Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Brawijaya]. <http://repository.ub.ac.id/106775/>
- Putra, P., Joewono, A., Sitepu, R., Agustine, L., & Andyardja, W. (2019). Alat pemantau dan pengendali sistem penyimpanan energi pada solar panel. *Widya Teknik*, 17(1), 25–31. <https://doi.org/10.33508/wt.v17i1.1958>
- Reinaldi, H., Bachtiar, I. K., & Nusyirwan, D. (2020). Pengujian Fotodiode Sebagai Sensor Radiasi Matahari. *Student Online Journal (SOJ) UMRH - Teknik*, 1(1), 16–21.
- Ruwiyah, S., Rahman, N. F. A., Rahim, A. R. A., Yusof, M. Y., & Umar, S. H. (2021). Cultivating science process skills among physics students using PhET simulation in teaching. *Journal of Physics: Conference Series*, 2126(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2126/1/012007>
- Sadik, O. A., & Cheung, M. C. (2001). Computer Simulation of Electronic Circuits Used in Chemical Instrumentation. *Journal of Chemical Education*, 78(5), 658. <https://doi.org/10.1021/ed078p658>
- Surahmat, A., & Fu'ady, T. D. (2020). Simulasi Rangkaian Seven Segment Menggunakan Multisim pada Pembelajaran Rangkaian Elektronika Analog dan Digital di SMKS Informatika Sukma Mandiri. *Journal of Innovation And Future Technology (IFTECH)*, 2(1), 15–28.
- Tooley, M. H. (2015). *Electronic circuits: Fundamentals and applications* (Fourth edition). Routledge.
- Tumbelaka, H. H. (2018). Optimalisasi Pembelajaran Elektronika Daya Dengan Menggunakan Simulasi Komputer. *Jurnal Teknik Dan Ilmu Komputer*, 7(27), 249–258.
- Umayya, I. S., & Susanto, M. F. (2020). Perancangan Sistem Komunikasi Suara Berbasis Modul Ultrasonik Menggunakan Software Proteus 8.9. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 11, 542–547. <https://doi.org/10.35313/irwns.v11i1.2069>
- Utomo, M. S. D., Syifaul Fuada, 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), 1–12.
- Vollrath, J. (2018). Open Access Microelectronics Course. *2018 12th European Workshop on Microelectronics Education (EWME)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EWME.2018.8629466>
- Wahyuni, S. (2020). Alternatif Media Pembelajaran Berbasis Perangkat Lunak Pada Bidang Elektro. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 4(1), 33–37. <https://doi.org/10.22373/crc.v4i1.6275>
- Waite, S., & Bendame, M. (1999). An introduction to Electronics Workbench for designing circuits and PCBs. *IEE Colloquium on Effective Microwave CAD Tools (Ref. No. 1999/064)*, 6/1-6/4. <https://doi.org/10.1049/ic:19990380>
- Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., & Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics Using PhET Simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225–227. <https://doi.org/10.1119/1.3361987>
- Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations That Enhance Learning. *Science*, 322(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Wulandaru, N. A. (2015). *Analisis Pemahaman Konseptual Materi Larutan Elektrolit dan Non Elektrolit Siswa Kelas X IPA SMAN 9 Malang* (Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang). <http://karya-ilmiah.um.ac.id/index.php/kimia/article/view/41174>
- Yang, Y., Meng, W., & Zhu, S. (2020). A Digital Twin Simulation Platform for Multi-rotor UAV. *2020 7th International Conference on Information, Cybernetics, and Computational Social Systems (ICCSS)*, 591–596. <https://doi.org/10.1109/ICCSS52145.2020.9336872>
- Yohannes, H. A., Darjat, D., & Sudjadi, S. (2017). Akuisisi Data Alat Ukur Arus, Tegangan, Hambatan dan Suhu Digital Dengan Konektivitas Bluetooth Pada Ponsel Cerdas Android. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(4), 456–464. <https://doi.org/10.14710/transient.5.4.456-464>
- Zain, A. (2016). Rancang Bangun Sistem Proteksi Kebakaran Menggunakan Smoke dan Heat

- Detector. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 3(1), 36–42. <https://doi.org/10.31963/intek.v3i1.25>
- Zhou, S., Wang, B., & Huang, K. (2021). Application of Multisim in the Teaching of Electrical and Electronic Course in Higher Vocational Colleges. *2021 2nd International Conference on Computers, Information Processing and Advanced Education*, 983–987. <https://doi.org/10.1145/3456887.3457446>
- Zhu, L., & Liu, C. (2021). Development and Analysis of Electronic and Electrical Experiment Simulation Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1754(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1754/1/012002>