

## Analisis Rangkaian Jembatan Wheatstone Berbasis Simulasi *PhET* Pada Pembelajaran Fisika SMA

M Y Kholifudin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>SMA Negeri 2 Kebumen, Jl. Cincin Kota No. 8 Kebumen, Jawa Tengah

<sup>2</sup>E-mail: by\_fis@yahoo.co.id

*Received: 02 September 2021. Accepted: 27 September 2021. Published: 30 September 2021*

**Abstrak.** Telah dilakukan penelitian rangkaian jembatan wheatstone berbasis simulasi *PhET*. Tujuan penelitian adalah menganalisis besar hambatan  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , dan  $R_4$  yang menyebabkan besar arus listrik yang melewati hambatan  $R_5$  nol dan tidak nol, Pengambilan data menggunakan aplikasi simulasi *PhET circuit-construction-kit-ac-virtual-lab\_en*, oleh 11 kelompok praktikum: 32 peserta didik kelas XII IPA1 SMA Negeri 2 Kebumen semester ganjil tahun pelajaran 2019/2020, diperoleh simpulan; besar arus listrik yang melalui hambatan  $R_5$  menghasilkan nol, diperoleh dari analisis hasil perkalian silang antara  $R_1$  dengan  $R_3$  sama dengan hasil perkalian silang antara  $R_2$  dengan  $R_4$ , rangkaian tersebut dalam keadaan seimbang dan besar arus listrik yang melalui  $R_5$  menghasilkan tidak nol, diperoleh dari hasil analisis perkalian silang hambatan  $R_1$  dengan  $R_3$  tidak sama dengan hasil perkalian silang antara  $R_2$  dengan  $R_4$ , rangkaian tersebut dalam keadaan tidak seimbang. Aktivitas kerja ilmiah peserta didik meningkat yang ditunjukkan oleh indikator pencapaian; dari awal sampai akhir kegiatan praktikum menikmati pembelajaran bermakna, tetap fokus, teliti, mandiri, kritis, bertanggungjawab dan menyelesaikan tugasnya tepat waktu. Aplikasi simulasi *PhET* sebagai alternatif solusi pembelajaran virtual berbasis praktikum pada masa pandemi covid-19.

*Kata kunci:* jembatan wheatstone, simulasi *PhET*, kerja ilmiah

**Abstract.** Research on a wheatstone bridge circuit based on *PhET* simulation has been carried out. The research objective was to analyze the resistance levels  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , and  $R_4$  which caused the amount of electric current that passed through the  $R_5$  resistance to be zero and non-zero. Data retrieval uses the *PhET circuit-construction-kit-ac-virtual-lab\_en* simulation application, by 11 groups of practicum. : 32 students of class XII IPA1 of Senior High School 2 Kebumen in the odd semester of the school year 2019/2020. Conclusions obtained from data analysis; the amount of electric current that passes through the resistance  $R_5$  produces zero, obtained from the analysis of the results of the cross multiplication between  $R_1$  and  $R_3$  is the same as the cross multiplication between  $R_2$  and  $R_4$ , the circuit is in a balanced state and the amount of electric current through  $R_5$  produces non-zero, obtained from the multiplication analysis results The cross resistance between  $R_1$  and  $R_3$  is not the same as the cross product of the cross between  $R_2$  and  $R_4$ , the circuit is in an unbalanced state. scientific work activities of students increased indicated in their achievement; from beginning to end of the practicum activities they enjoyed meaningful learning, stayed focused, were thorough, independent, critical, responsible and completed their tasks on time. This means that the *PhET* simulation application could be used as a virtual learning solution based on practicum during the Covid-19th pandemic.

*Keywords:* wheatstone bridge, *PhET* simulation, scientific work

## 1. Pendahuluan

Proses Pembelajaran pada satuan pendidikan diselenggarakan secara interaktif, inspiratif, menyenangkan, menantang, memotivasi peserta didik untuk berpartisipasi aktif, serta memberikan ruang yang cukup bagi prakarsa, kreativitas, dan kemandirian sesuai dengan bakat, minat, dan perkembangan fisik serta psikologis peserta didik. Untuk itu setiap satuan pendidikan melakukan perencanaan pembelajaran, pelaksanaan proses pembelajaran serta penilaian proses pembelajaran untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas ketercapaian kompetensi lulusan [1] permendikbud

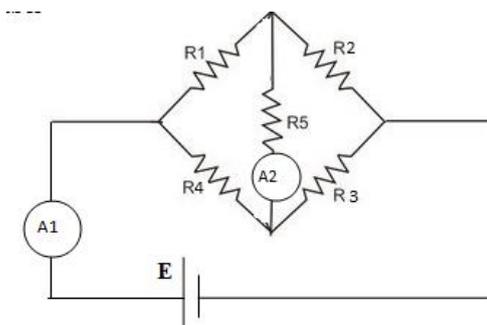
Dalam proses pembelajaran fisika seorang guru/pendidik dalam menyampaikan materi konsep fisika melalui dua cara yaitu yang pertama pembelajaran secara teori dengan literasi berbagai literatur/buku dan kedua berbasis praktikum/eksperimen di laboratorium fisika. Pada materi rangkaian listrik searah/DC merupakan materi kelas XII IPA semester 5 dengan Kompetensi Dasar (KD) 3.1 menganalisis prinsip kerjaperalatan listrik searah (DC) dalam kehidupan sehari-hari. 4.1 mempresentasikan hasil percobaan tentang prinsip kerja rangkaian listrik searah (DC). Untuk meningkat kompetensi peserta didik pada KD-4 yaitu dalam proses pembelajaran melaksanakan praktikum jembatan wheastone.[2] silabus.

Praktikum Fisika tergolong model pembelajaran inkuiri terbimbing yaitu model pembelajaran yang dirancang membawa peserta didik dalam proses penelitian melalui penyelidikan dan penjelasan dalam setting waktu yang singkat (Joice & Well, 2003). Model pembelajaran inkuiri merupakan kegiatan pembelajaran fisika yang melibatkan secara maksimal seluruh kemampuan peserta didik untuk mencari dan menyelidiki sesuatu secara sistematis kritis dan logis sehingga peserta didik dapat merumuskan sendiri temuannya sehingga diharapkan dapat tumbuh sikap percaya diri (*self belief*), guru menempatkan diri sebagai fasilitator dan motivator belajar peserta didik [8]

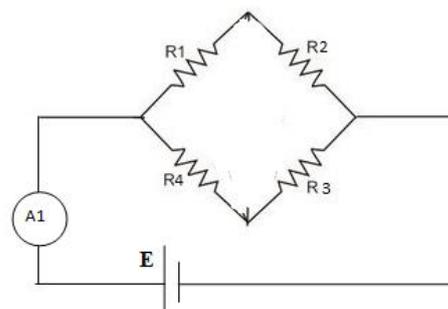
Media pembelajaran fisika diperlukan untuk membantu peserta didik dalam mempelajari konsep ilmu fisika dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan media pembelajaran simulasi PhET dalam pembelajaran fisika efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep fisika mahasiswa mata kuliah fisika modern mengalami peningkatan pada setiap siklus. Kepraktisan media animasi menggunakan *simulasi* dapat dilihat dari respons mahasiswa terhadap pelaksanaan pembelajaran menggunakan media simulasi PhET materi efek fotolistrik hasil pengembangan pada aspek materi/isi, kebahasaan, penyajian dan kegrafikan [6]. Melalui adanya perkembangan teknologi, termasuk adanya kehadiran komputer dan internet, memungkinkan setiap orang untuk belajar dan mengembangkan diri secara mandiri. Hasil teknologi berupa simulasi yang dapat diunduh secara gratis dan memungkinkan pembelajaran berlangsung di luar jam tatap muka dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran. Saat ini ada sebuah media pembelajaran yang dapat digunakan untuk mempelajari lebih dalam mengenai gerak parabola. Media pembelajaran tersebut adalah simulasi PhET (Physics Education and Technology[9]. Agar pembelajaran praktikum berjalan efektif dan efisiensi pada praktikum jembatan Wheatstone berbasis simulasi PhET dengan tujuan yaitu menganalisis besar hambatan  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , dan  $R_4$  yang menyebabkan besar arus listrik yang melalui hambatan  $R_5$  adalah nol dan tidak nol.

## Jembatan Wheatstone

Rangkaian Jembatan Wheastone ditunjukkan pada gambar 1.a dan 1.b di bawah ini



Gambar 1.a



Gambar 1.b

$R_2$  merupakan hambatan variabel yang besarnya dapat diubah dan  $R_1$  adalah hambatan yang hendak diukur besarnya, nilai  $R_4$  dan  $R_3$  diketahui. Jika saklar di on, amperemeter yang melewati  $R_5$  menunjukkan besaran arusnya nol pada amperemeter  $A_2$ . Pada keadaan tersebut dalam keadaan seimbang arus yang melalui  $R_1$  dan  $R_2$  sama yaitu  $I_1$ , arus yang melalui  $R_4$  dan  $R_3$  sama yaitu  $I_2$ . Besarnya arus total  $I_1$  dan  $I_2$  ditunjukkan oleh amperemeter  $A_1$ [5]

Pada keadaan seimbang, pada rangkaian jembatan wheatstone diperoleh;

$$V_{R1} = V_{R4} \text{ dan } V_{R2} = V_{R3} \tag{1}$$

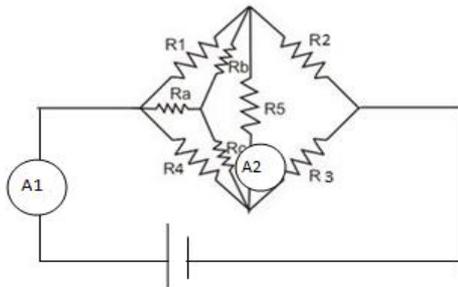
$$\text{atau } I_1 R_1 = I_2 R_4 \text{ dan } I_1 R_2 = I_2 R_3 \tag{2}$$

Berdasarkan persamaan (1) dan (2) diperoleh

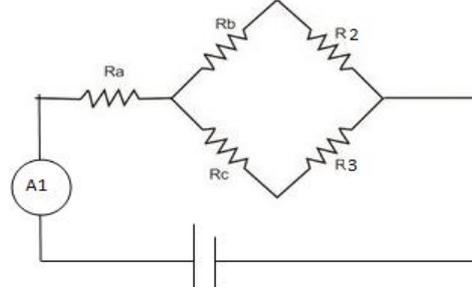
$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4 \tag{3}$$

$$R_2 = \frac{R_1 R_3}{R_4} \tag{4}$$

Jika pada keadaan tidak seimbang, maka susunan hambatan seperti rangkaian 2.a dan 2.b di bawah ini.



Gambar 2.a



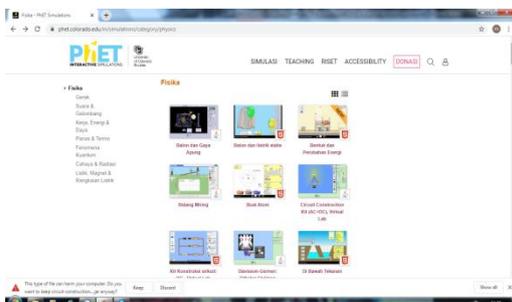
Gambar 2.b

Besaran rangkaian hambatan dengan metode segitiga bintang dengan besar hambatan  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$  masing-masing diperoleh dari persamaan berikut:

$$R_a = \frac{R_1 R_4}{R_1 + R_4 + R_5}, \quad R_b = \frac{R_1 R_5}{R_1 + R_4 + R_5}, \quad \text{dan } R_c = \frac{R_4 R_5}{R_1 + R_4 + R_5} \tag{5}$$

**Media Simulasi PhET**

Simulasi PhET berisi dengan konten mapel fisika, biologi, kimia, ilmu kebunian, matematika dapat diperoleh dengan mendownload dengan langkah ke-1 ketik alamat pada pencarian google situs <https://phet.colorado.edu/in/simulations/category/physics> diperoleh gambar tampilan muka sebagai berikut seperti gambar 3.a



Gambar 3.a. Tampilan depan Simulasi PhET



Gambar 3.b. Tampilan circuit-construction-kit-ac-virtual-lab,

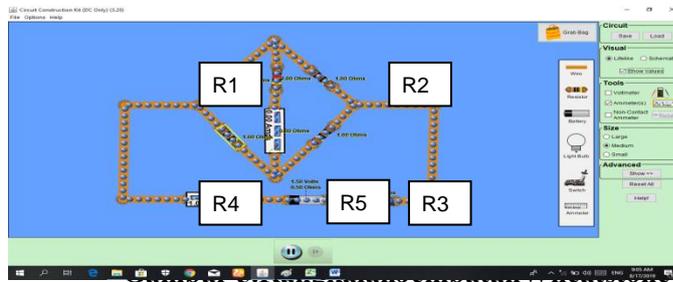
Kemudian langkah ke-2 klik gambar *circuit-construction-kit-ac-virtual-lab*, muncul gambar 3.b, langkah ke-3 klik download tunggu proses selesai, langkah ke-4 siap dioperasikan untuk pembelajaran jembatan wheastone [3].

## 2. Metode

Metode penelitian ini adalah penelitian berbasis praktikum *virtual lab* berbantuan simulasi *PhET*, langkah awal peserta didik mendownload fasilitas JavaScript dan simulasi *PhET circuit-construction-kit-ac-virtual-lab*, langkah kedua membuka simulasi *PhET* mengoperasikan fasilitas atau menu pada layar kerja, merangkai jembatan wheastone yang terdiri dari R1 R2 R3 R4 R5, voltmeter, amperemeter, langkah ketiga mengambil data dan mentabelkan data, langkah keempat membuat laporan praktikum terbagi 11 kelompok tiap kelompok 3 peserta didik kelas XII IPA1 SMA Negeri 2 Kebumen semester 1 tahun pelajaran 2019/2020.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Rangkaian jembatan wheastone dengan data  $R_1 \times R_3$  dan  $R_2 \times R_4$  yang ditampilkan pada layar laptop di bawah ini



Diperoleh rata-rata data-data sebagai berikut:

**Tabel 1. Data  $R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$**

No	E	$R_1$ ( $\Omega$ )	$R_2$ ( $\Omega$ )	$R_3$ ( $\Omega$ )	$R_4$ ( $\Omega$ )	$R_1$ $\times$ $R_3$	$R_2$ $\times$ $R_4$	R $\Omega$ rangkaiian	$R_5=2\Omega$		$R_5=3\Omega$		$R_5=4\Omega$	
									I (mA)	I ( $R_5$ ) mA	I (mA)	I ( $R_5$ ) mA	I (mA)	I ( $R_5$ ) mA
1	1.5 V, 0.5 $\Omega$	1	1	1	1	1	1	1.5	1000	0	1000	0	1000	0
2		2	2	2	2	4	4	2.5	600	0	600	0	600	0
3		3	3	3	3	9	9	3.5	429	0	429	0	429	0
4		4	4	4	4	16	16	4.5	333	0	333	0	333	0
5		5	5	5	5	25	25	5.5	273	0	273	0	273	0
1	3.0 V, 0.5 $\Omega$	1	1	1	1	1	1	1.5	2000	0	2000	0	2000	0
2		2	2	2	2	4	4	2.5	1200	0	1200	0	1200	0
3		3	3	3	3	9	9	3.5	857	0	857	0	857	0
4		4	4	4	4	16	16	4.5	667	0	667	0	667	0
5		5	5	5	5	25	25	5.5	545	0	545	0	545	0
1	4.5 V, 0.5 $\Omega$	1	1	1	1	1	1	1.5	3000	0	3000	0	3000	0
2		2	2	2	2	4	4	2.5	1800	0	1800	0	1800	0
3		3	3	3	3	9	9	3.5	1286	0	1286	0	1286	0
4		4	4	4	4	16	16	4.5	1000	0	1000	0	1000	0
5		5	5	5	5	25	25	5.5	818	0	818	0	818	0

Pada data tabel 1: 5 kali mengambil dengan sumber tegangan yang berbeda yaitu, 1,5 V 0.5Ω, 3 V 0.5Ω dan 4,5 V 0,5Ω. Pada sumber tegangan 1,5 V dengan R1, R2 R3, R4 tiap data besar hambatan sama diperoleh besar hambatan perkalian silang antara R1 dengan R3 dan R2 dengan R4 menghasilkan hambatan sama besar yaitu masing-masing sama besar 1Ω 4Ω 9Ω 16Ω dan 25Ω. Besar hambatan total yang diperoleh setiap pengukuran dengan sumber tegangan yang berbeda menghasilkan besar hambatan total yang sama dan semakin besar hambatan R1, R2, R3 dan R4 yang terpasang besar hambatan total semakin besar.

Pada sumber tegangan 1,5 V, 0,5 Ω dengan variabel hambatan total semakin besar yaitu 1,5Ω, 2,5Ω, 3,5Ω, 4,5Ω, dan 5,5Ω, diperoleh arus listrik yang mengalir pada rangkaian semakin kecil. Kemudian dengan sumber tegangan yang berbeda yaitu, dari tegangan 1,5V 0.5Ω, 3V 0.5Ω dan 4,5V 0,5Ω menghasilkan data semakin besar sumber tegangan sumber yang diberikan pada rangkaian, semakin besar kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian hal tersebut sesuai dengan hukum kirchof II pada rangkaian tertutup rujukan [4]. Hambatan R1, R2, R3 dan R4 semakin besar amperemeter menunjukkan besar arus yang mengalir pada rangkaian I semakin kecil.

Hambatan R5 diubah-ubah semakin besar dari kecil ke besar yaitu 2Ω, 3Ω, dan 4Ω, besar arus listrik yang melewati hambatan R5 yang ditunjukkan oleh amperemeter adalah tetap yaitu nol artinya tidak ada arus listrik yang melalui hambatan R5. Aliran arus listrik I yang keluar dari sumber tegangan masuk ke titik percabangan yaitu arus listrik yang pertama melalui hambatan seri R1 R2 dan arus listrik yang kedua melalui hambatan seri R3 R4 kemudian arus listrik pertama dan arus listrik kedua masuk di titik hubungan R2 dan R3 menjadi arus total pada rangkaian I sesuai pada gambar 1.b. Besar arus listrik yang melalui hambatan R5 adalah tetap nol menunjukkan rangkaian tersebut dalam keadaan seimbang yang dinamakan rangkaian jembatan wheatstone. Dari uraian diatas diperoleh rangkaian jembatan wheatstone dalam keadaan seimbang dihasilkan dari perkalian silang antara hambatan yang bersebrangan menghasilkan besar hambatan sama besar sesuai dengan [7].

**Tabel 2. Data  $R_1 \times R_3 \neq R_2 \times R_4$**

no	E	R <sub>1</sub> (Ω)	R <sub>2</sub> (Ω)	R <sub>3</sub> (Ω)	R <sub>4</sub> (Ω)	R <sub>1</sub> X R <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> X R <sub>4</sub>	R Ω rangkaiian	R5 2Ω	
									I (mA)	I (R5) mA
1	1.5 VOLT, 0.5Ω	1	1	1	8	1	8	2.03	740	130
2		2	2	2	6	4	12	3.07	490	70
3		3	4	3	4	9	16	3.95	380	30
4		4	6	4	2	16	12	4.24	350	20
5		5	8	5	1	25	8	4.47	340	50
1	3.0 VOLT, 0.5Ω	1	1	1	8	1	8	2.03	1480	260
2		2	2	2	6	4	12	3.07	980	140
3		3	4	3	4	9	16	3.95	760	70
4		4	6	4	2	16	12	4.24	710	30
5		5	8	5	1	25	8	4.47	670	100
1	4.5 VOLT, 0.5Ω	1	1	1	8	1	8	2.03	2220	390
2		2	2	2	6	4	12	3.07	1470	210
3		3	4	3	4	9	16	3.95	1140	100
4		4	6	4	2	16	12	4.24	1060	50
5		5	8	5	1	25	8	4.47	1010	150

Pada data tabel 2. 5 kali pengambilan data dengan sumber tegangan yang berbeda yaitu, 1,5 V  $0,5\Omega$ , 3 V  $0,5\Omega$  dan 4,5 V  $0,5\Omega$ . Pada rangkaian diberi perlakuan besar hambatan R1 dan R3 dengan hambatan yang sama besar. Kemudian besar hambatan R2 dan R4 berbeda dimana pada R2 semakin besar hambatannya dan R4 semakin kecil hambatannya. Misalnya dari data diperoleh hasil perkalian silang antara R1 dengan R3 menghasilkan hambatan  $1\Omega$  dan perkalian silang antara R2 dengan R4 menghasilkan hambatan  $8\Omega$  besar hambatan hasil perkaliannya tidak sama besar. Hambatan  $R1 \times R3$  semakin besar dan  $R2 \times R4$  semakin kecil dan diperoleh data besar hambatan total rangkaian semakin besar dari  $2,03\Omega$ ,  $3,07\Omega$ ,  $3,95\Omega$ ,  $4,24\Omega$ ,  $4,47\Omega$ .

Analisis dengan berbagai variabel setiap sumber tegangan (E) dengan 5 kali percobaan dan besar hambatan R1, R2, R3, R4 variasi 5 kali pengukuran yang berbeda dan R5 3 kali variasi berbeda. Jika sumber tegangannya semakin besar dari 1,5 V, 3 V, 4,5 V, maka diperoleh besar arus yang mengalir pada rangkaian semakin besar bisa kita lihat pada keadaan 1 yaitu 740 mA, 1480 mA, 2220 mA, hal tersebut sesuai dengan konsep besar arus listrik yang melalui suatu hambatan R. Jika sumber tegangan tetap dan hambatan rangkaian semakin besar, maka arus yang mengalir pada rangkaian semakin kecil. Terlihat pada tabel data tegangan 1,5 V,  $0,5\Omega$ : hambatan ( $2,03\Omega$ ,  $3,07\Omega$ ,  $3,95\Omega$ ,  $4,24\Omega$ ,  $4,47\Omega$  besar arusnya 740 mA, 490 mA, 380 mA, 350 mA, 340 mA.

Pada tabel.2 data hasil perkalian hambatan antara R1 dengan R3 dan perkalian R2 dengan R4 besarnya tidak sama atau berbeda, diperoleh data arus yang melewati hambatan R5 yang ditunjukkan oleh amperemeter untuk hambatan  $2\Omega$ , semakin besar hambatan totalnya, besar arus listrik yang melalui R5 pada sumber tegangan 1,5 V adalah 170 mA, 70 mA, 30 mA, 20 mA dan 5 mA. Semakin besar hambatan totalnya, semakin kecil besar arus listrik yang melalui hambatan R5. Semakin besar sumber tegangan E, besar arus yang melewati R5 semakin besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa data di atas rangkaian tersebut dalam keadaan tidak seimbang, rangkaian tersebut dinamakan rangkaian jembatan Wheatstone tidak dalam keadaan seimbang sehingga solusi rangkaian hambatan penggantinya menggunakan segitiga bintang atau delta[5].

Dari data tabel 1 dan tabel 2 diperoleh kesamaan dan perbedaan sebagai berikut; persamaan dari data analisis semakin besar sumber tegangan yang diberikan pada rangkaian semakin besar pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian. Semakin besar hambatan rangkaian listrik dengan sumber tegangan tetap diperoleh arus listrik yang mengalir pada rangkaian semakin kecil pula. Perbedaannya untuk tabel 1 arus yang melalui hambatan R5 dengan mengubah ubah sumber tegangan dan perkalian hambatan R yang bersilangan atau beseberangan yaitu hambatan R1 dengan R3 dan hambatan R2 dengan R4 adalah sama besar diperoleh besar arus yang melalui R5 besarnya nol yang ditunjukkan oleh amperemeter R5 dan jika hasil perkalian silang hambatan R1 dengan R3 dan hambatan R2 dengan R4 tidak sama besar, maka amperemeter R5 menunjukkan harga tidak nol.

Dengan menganalisis Jembatan Wheatstone berbantuan simulasi PhET di atas memudahkan guru dan peserta didik dalam mempelajari suatu rangkaian listrik secara virtual lab secara mudah dan tidak memakan waktu yang lama untuk merangkai rangkaian listrik dibandingkan dengan di laboratorium riil. PhET dapat dikolaborasikan dengan percobaan riil, maupun dapat digunakan sebagai pengganti laboratorium riil. Simulasi ini dapat membantu peserta didik dalam mengenal topik baru, membangun konsep atau skill, memperkuat ide, menyediakan hasil akhir dan refleksi serta menyediakan visualisasi umum antara peserta didik dan guru. Dalam proses pembelajaran diperoleh profil peserta didik dalam melakukan praktikum berbasis aplikasi simulasi PhET yaitu aktivitas kerja ilmiah peserta didik meningkat yang ditunjukkan oleh indikator pencapaian; dari awal sampai akhir kegiatan praktikum menikmati pembelajaran bermakna, tetap fokus, teliti, mandiri, kritis, bertanggungjawab dan menyelesaikan tugasnya tepat waktu yang hasil berupa laporan praktikum yang dikumpulkan melalui email. Hal tersebut sesuai dari dampak pemanfaatan model inkuiri terhadap sikap ilmiah dan keterampilan proses sains siswa sangat nyata [10]. Aplikasi simulasi *PhET* dapat digunakan sebagai alternatif solusi pembelajaran virtual berbasis praktikum fisika pada masa pandemi covid-19.

#### 4. Simpulan

Diperoleh simpulan dari data-data pembelajaran berbasis praktikum jembatan wheatstone berbasis simulasi *PhET*. Semakin besar sumber tegangan yang diberikan pada rangkaian semakin besar arus yang mengalir pada rangkaian, Besar arus listrik yang melalui hambatan R5 adalah nol diperoleh dari susunan hambatan R hasil perkalian silang antar R1 dengan R3 sama besar dengan perkalian antara R2 dengan R4. Besar arus yang keluar dari sumber tegangan akan terurai masuk melalui R1 R2 dan R3 R4, rangkaian tersebut dinamakan rangkaian dalam keadaan seimbang. Besar arus listrik yang melalui R5 tidak sama dengan nol diperoleh dari susunan hambatan dari hasil perkalian silang antara R1 dengan R3 tidak sama besar dengan perkalian antara R2 dengan R4, rangkaian rangkaian tersebut dinamakan rangkaian dalam keadaan tidak seimbang. Manfaat konsep jembatan Wheatstone tersebut di laboratorium fisika listrik digunakan untuk mengukur besar hambatan suatu penghantar listrik. Simulasi PhET sebagai media pembelajaran berbasis praktikum fisika listrik yang sangat baik untuk meningkatkan kompetensi kognitif maupun psikomotor peserta didik.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kepala SMA Negeri 2 Kebumen yang telah memberikan ruang, waktu, dan ijin penelitian, rekan-rekan guru yang memberi motivasi untuk menyelesaikan penulisan ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] \_\_\_\_\_ Permendikbud No.22 Tahun 2016 *tentang Standar Proses Dasar Menengah*
- [2] \_\_\_\_\_ Kurikulum 2013, *silabus Fisika SMA*
- [3] \_\_\_\_\_ <https://phet.colorado.edu/in/simulations/category/physics>
- [4] Astalini, Darmaji, Cicyn R and Nova S 2019 *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika (JRKPF UAD)* **6** 2 p 71-75
- [5] Douglas C. Giancoli 2001 *Fisika Edisi Kelima Jilid 1* (Jakarta; Erlangga)
- [6] Ferawati A H and Jainal A 2019 *Jurnal Pendidikan Fisika Unimed* **8** 2 p 102-108
- [7] Sears and Zemansky 2001 *Fisika Universitas Edisi kesepuluh Jilid 2* (Jakarta; Erlangga)
- [8] Wina Sanjaya 2009 *Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan Edisi Pertama cetakan ke-6* (Jakarta; Kencana Prenada Media Group)
- [9] Tuhusula T S, Pattana B, Randai E, Wateriri D R dan Walukow A F, 2020 *Jurnal Pendidikan Fisika Unimed* **9** 2 p 128-135
- [10] Khoiri N 2021 *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika* **12** 1 p 72-77