



Photoelectric Effect on Metal Work Function Using Test Simulation

Kazman Riyadi^{1*}, Ahmad Salleang², Nisty Taqhira³

¹Politeknik Negeri Ujung Pandang, ^{2,3}Akademi Komunitas Industri Manufaktur

Corresponding Author: Kazman Riyadi kazmanriyadi@poliupg.ac.id

ARTICLE INFO

Keywords: Photoelectric Effect, PhET Simulation, Metal

Received : 20 January

Revised : 23 February

Accepted: 25 March

©2023 Riyadi, Salleang, Taqhira:

This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



ABSTRACT

Some physical materials are microscopic, atomistic or abstract in nature which are difficult to observe directly. Although observations can be made experimentally, the high cost of laboratories and materials in experiments is an obstacle to conducting tests in experiments. This can hamper the teaching and learning process, especially in basic physics courses. The development of computerization has touched the learning environment. Computer simulations have been able to visualize the actual state of the scientific phenomenon. This can be a solution to the problem. The purpose of this paper is to compare the test results using PhET (Physics Education Technology) simulations with theoretical calculations on the photoelectric effect on the work function of metals. The results obtained by the wavelength simulation (λ) for the work function of Sodium 547 nm, Zinc 430.8 nm, Copper 264 nm and 195 nm with the highest and lowest difference between theory and simulation tests on sodium material are 1.39% while for Zinc it was 0.03%.

Efek Foto Listrik terhadap Fungsi Kerja Logam Menggunakan Simulasi Pengujian

Kazman Riyadi^{1*}, Ahmad Salleang², Nisty Taqhira³

¹Politeknik Negeri Ujung Pandang, ^{2,3}Akademi Komunitas Industri Manufaktur

Corresponding Author: Kazman Riyadi kazmanriyadi@poliupg.ac.id

ARTICLE INFO

Kata Kunci: Efek Foto Listrik, Simulasi PhET, Logam

Received : 20 Januari

Revised : 23 Februari

Accepted: 25 Maret

©2023 Riyadi, Salleang, Taqhira:

This is an open-access article distributed under the terms of the

[Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



ABSTRAK

Beberapa materi fisika bersifat mikroskopis, atomistic maupun abstrak yang sulit untuk diamati secara langsung. Walaupun pengamatan dapat dilakukan melalui eksperimental, namun tingginya harga laboratorium dan bahan dalam percobaan menjadi kendala untuk melakukan pengujian dalam bereksperimen. Hal ini dapat menghambat proses belajar mengajar terkhusus pada mata kuliah fisika dasar. Perkembangan komputerisasi telah menyentuh di dalam lingkungan pembelajaran. simulasi komputer telah mampu memvisualisasikan keadaan sebenarnya dari fenomena ilmiah tersebut. Hal ini dapat menjadi solusi dari permasalahan tersebut. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk membandingkan hasil pengujian menggunakan simulasi PhET (*Physics Education Technology*) dengan perhitungan teoritis pada efek foto listrik terhadap fungsi kerja logam. Hasil yang diperoleh secara simulasi Panjang gelombang (λ) untuk fungsi kerja Sodium 547 nm, Zenc 430,8 nm, Copper 264 nm dan 195 nm dengan selisih pengujian teori dan simulasi yang tertinggi dan terendah masing-masing pada bahan sodium sebesar 1,39% sedangkan untuk Zenc sebesar 0,03%.

PENDAHULUAN

Fenomena alam berupa gejala fisik, variabel fisis dipelajari dalam ilmu fisika yang terukur atau bersifat kuantitatif kemudian dibalut dalam serangkaian teori dalam menjelaskan fenomena-fenomena tersebut (Sijabat, 2020). Pada umumnya untuk mempelajari fenomena fisik, dapat menggunakan pendekatan teoritis hingga pendekatan eksperimental. Pendekatan teori dilakukan dengan mengamati fenomena fisik yang dikembangkan melalui paparan teori yang menjelaskan fenomena tersebut. keterkaitan eksperimen terhadap teori adalah untuk menguji pendekatan teori yang telah dan konsistensi teori tersebut. Selain itu adanya eksperimen yang dilakukan meningkatkan model mental peserta didik sehingga dapat membuat pemahaman terhadap teori-teori fenomena fisik yang terjadi (Wahid, 2015). salah satu gejala alam yang banyak dimanfaatkan adalah efek foto listrik (Jylkkä & Railo, 2019).

Efek foto listrik merupakan materi fisika bersifat mikroskopik, atomistic yakni adanya proses elektron yang mengalir namun tidak dapat diamati secara langsung. Pemahaman dan perkembangan fenomena efek foto listrik dalam ilmu fisika berlangsung dalam konsep fisika klasik tentang cahaya sebagai gelombang telah disempurnakan oleh teori fisika modern yang menimbulkan polemik baru bahwa cahaya memiliki sifat ganda yakni sebagai gelombang dan sebagai partikel (Sutarno & Hayat, 2017), (Aini, 2020). Fenomena efek foto listrik telah banyak diterapkan pada proses industri, manufaktur, kedokteran (Mulyadi, 2022), dan konversi energi surya ke energi listrik (Riyadi & Rizaldy, 2021), Berdasarkan hal ini maka perlunya memahami efek foto listrik sebagai dasar dalam penerapan ilmu tersebut.

Komputerisasi pada media pembelajaran fisika semakin berkembang hingga ke sekolah yang menyebabkan berkembangnya media pembelajaran, salah satunya pembelajaran komputer. Banyaknya gejala fisik yang sulit untuk dilakukan pengamatan karena bersifat mikroskopik, atomic bahkan abstrak sehingga dalam pembelajaran sulit melakukan eksperimental selain mempertimbangkan nilai ekonomisnya. Simulasi PhET merupakan salah satu media yang mudah diunduh dalam pembelajaran fisika. PhET (Physics Education Technology) menyediakan simulasi pembelajaran secara gratis untuk kepentingan pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam-fisika di kelas tatap muka langsung (Muzana et al., 2021) maupun secara online/ daring (Arifin et al., 2022), bersifat interaktif hingga peserta didik mudah untuk bereksplorasi, simulasi PhET telah banyak digunakan dalam mensimulasikan efek foto listrik (Supurwoko et al., 2017). *PhET simulations* juga telah banyak digunakan sebagai media interaktif dalam peningkatan pembelajaran inkuri (Santofani & Rosana, 2016). Media pembelajaran yang berbasis teknologi informasi yang sederhana mudah untuk memahami konsep dan teori fisika secara mudah, cepat dan

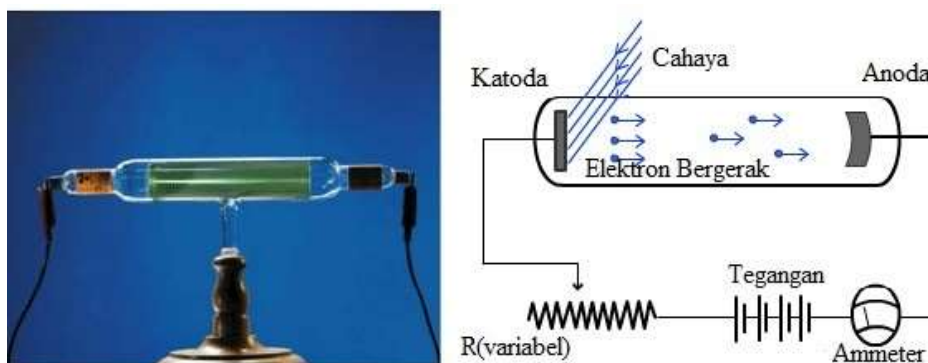
praktis dan diharapkan dapat menurunkan miskonsepsi pada pelajar/pengajar (Habibulloh, 2019).

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk membandingkan hasil pengujian menggunakan simulasi komputer sebagai media pembelajaran fisika terhadap perhitungan teoritis pada efek foto listrik terhadap fungsi kerja logam. Dengan menggunakan beberapa jenis logam yang digunakan dalam simulasi ini adalah Sodium (Natrium), Zenc (Seng), Copper (Tembaga), Platinum (Platina). Dalam penelitian ini pengujian dilakukan menggunakan software *PhET Simulations* (Simulasi PhET)

TINJAUAN PUSTAKA

Efek Foto Listrik terhadap Logam

Efek foto listrik merupakan suatu peristiwa terlepasnya elektron dari permukaan materia (logam) akibat penyinaran oleh cahaya tertentu. Berbeda dengan teori fisika klasik yang menyatakan energi foton individual bertambah besar seiring dengan bertambahnya intensitas cahaya tersebut. Namun berdasarkan kenyataan eksperimental bahwa distribusi energi fotoelektron tidak bergantung pada intensitas cahaya namun pada frekuensi cahaya (Anwar et al., 2013).



Gambar 1. Percobaan Efek Foto Listrik

Gambar 1 memperlihatkan sebuah tabung yang divakumkan yang setiap ujungnya dilengkapi dengan katoda dari bahan logam yang berbeda-beda. Setiap ujung tabung (katoda dan anoda) masing masing dihubungkan pada sebuah alat ukur ammeter. Ammeter merupakan pengukur arus listrik yang di indentikkan sebagai adanya pergerakan elektron (Anwar et al., 2013). dengan besarnya nilai energi kinetik pada elektron adalah energi yang diserap elektron dari foton dikurangi dengan energi ikatan elektron tersebut (A. Ramlan & Aminuddin, 2017).

$$W_0 = h \cdot f_0 \quad (1)$$

dimana ; W_0 = Energi kinetik (J)
 h = konstanta Planck ($6,6 \times 10^{-34}$) Js.
 f_0 = ambang batas frekuensi

Energi yang berada pada cahaya ditentukan oleh panjang gelombang cahaya tersebut yang di simbolkan dengan λ (lambda dalam satuan meter) yang dipengaruhi oleh frekuensi sebuah cahaya yang signifikan terhadap energi kinetik dari electron tersebut. Dengan konstanta cahaya rambat ($C = 3,0 \times 10^8$ m/s) dengan persamaan seperti pada persamaan (2) berikut (R. Ramlan & Bama, 2017);

$$\lambda = c/f \quad (2)$$

Untuk nilai energi kinetik pada Gerakan electron dapat digunakan persamaan (Kusworo & Winarti, 2013) ;

$$E_k = h \cdot f - w \quad (3)$$

$$E_{k(Max)} = h(f - f_0) \quad (4)$$

dimana ; E_k = Energi kinetik (J)
 w = ikatan energi (J)
 f = frekuensi yang diberikan (Hz)
 f_0 = frekuensi ambang fungsi kerja (Hz)

Besarnya energi minimum yang diperlukan oleh elektron untuk dapat melepaskan diri dari logam disebut fungsi kerja logam (frekuensi ambang). yang dapat berbeda sesuai jenis bahan yang digunakan. Pengaplikasian efek foton dibidang elektronik salah satunya yaitu pada tabung foto pengganda (photo multipliertube) dan pada foto diode atau foto transistor sebagai sensor cahaya berkecepatan tinggi .

Cahaya sebagai gelombang elektromagnetik mempunyai Sifat-sifat cahaya yang berbeda sesuai dengan Panjang gelombang cahaya tersebut, Panjang gelombang serta besaran-besaran dalam pengukuran cahaya mempunyai energi yang berbeda pada setiap jenis cahaya dengan panjang gelombang tersebut. Tabel 1 memperlihatkan Panjang gelombang dan cahaya yang dihasilkan dari panjang gelombang tersebut

Tabel 1. Panjang Gelombang dari Spektrum Cahaya (Rokhaniyah, 2019)

Panjang Gelombang	Warna
400- 435 nm	Ungu
450 – 490 nm	Biru
490 – 580 nm	Hijau
580 – 595 nm	Kuning
595 – 610 nm	Oranye
610 – 750 nm	Merah

Penggunaan PhET Interactive Simulation sebagai Media Virtual

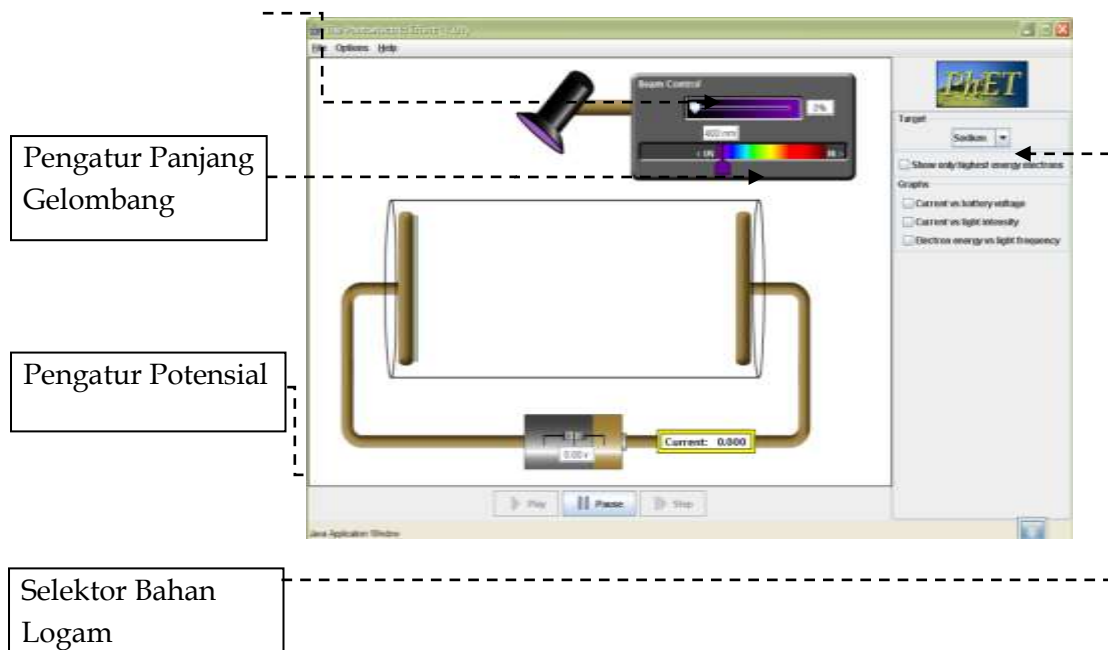
Media Virtual telah banyak digunakan untuk mempermudah pemahaman ilmu alam. Hal tersebut dimaksudkan memberikan pengaruh yang berbeda dibandingkan dengan penggunaan media nyata. Hal ini dipengaruhi oleh adanya beberapa kondisi dan kemajuan teknologi yang cukup pesat. Simulasi PhET merupakan salah satu media pembelajaran simulasi yang menarik bagi peserta didik dengan memanfaatkan kecanggihan teknologi dalam memahami materi pembelajaran fisika sehingga mampu melatih tingkat kognitif dan psikomotorik peserta didik yang berbeda pada paradigma Pendidikan lama (Jannah, 2020)

Berdasarkan beberapa penelitian, penggunaan PhET Interactive Simulation sebagai media virtual telah dilakukan diantaranya melakukan pembelajaran pada ilmu pengetahuan alam menggunakan media *PhET Simulations* yang dilakukan di universitas Almuslim pada mahasiswa Pendidikan fisika yang diperoleh hasil responsi dari mahasiswa sebanyak 3,57 tergolong ke dalam kriteria baik (Yunita et al., 2020). PhET simulations juga telah diujikan pada beberapa sekolah menengah atas (SLTA) maupun sekolah menengah pertama (SLTP) sebanyak 78 responsi dengan hasil yang baik untuk digunakan dalam pembelajaran classroom (Ouahi et al., 2021).

METODOLOGI

Dalam Penelitian ini metode yang digunakan adalah metode perbandingan eksperimen menggunakan simulasi PhET terhadap teori efek foto listrik, dengan bahan logam untuk katoda yakni Natrium (Sodium), seng (Zinc), tembaga (Copper) dan Platina (Platinum). Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Akademi Komunitas Manufaktur beralamat di Nipa-Nipa kecamatan Pa'jukukang Bantaeng Waktu penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun 2021/2022, dengan tahapan pengujian yaitu persiapan alat dan bahan diantaranya laptop, software simulasi PhET, jaringan internet. Pada Tahapan pengujian /Eksperimen efek foto listrik adalah melakukan *Running* program PhET Interactive Simulation dengan mengakses situs web <https://PhET.colorado.edu/in/simulations/photoelectric>. Gambar 2 merupakan melakukan pengujian dengan hasil pengujian pada tabel 1.

Pengatur Intensitas



Gambar 1 Pengujian Foto Listrik Menggunakan Simulasi PhET

HASIL PENELITIAN

Untuk memperoleh data pengujian maka dilakukan prosedur dengan memilih bahan Natrium/Sodium kemudian mengatur intensitas cahaya 100% dengan menggeser nilai intensitas cahaya hingga mencapai nilai yang diinginkan. Selanjutnya mengatur Panjang gelombang penyinaran (cahaya) secara perlahan hingga terjadi pelepasan electron awal sebagai nilai ambang (fungsi kerja) pada logam tersebut. Kemudian Memasukkan nilai pengujian pada tabel 2. Melakukan pengujian untuk logam seng, tembaga dan platina. Untuk menentukan selisih teori dan pengujian simulasi digunakan persamaan (5) ;

$$\text{Selisih} = \frac{\text{Nilai Teori} - \text{Nilai Simulasi}}{\text{Nilai Simulasi}} * 100 \% \quad (5)$$

Tabel 2. Hasil Pengujian Menggunakan PhET pada Efek Foto Listrik

Elektroda (Katoda)	Teori		Simulasi PhET		Selisih (%)
	eV (V)	λ (nm)	eV (V)	λ (nm)	
Sodium	2,27	545	2,30	539	1,390630
Zenc	4,31	288	4,30	288	0,039913
Copper	4,7	264	4,72	263	0,377560
Platinum	6,35	195	6,33	196	0,307486

Pengujian ini dilakukan untuk menghitung nilai Energi kinetic electron. Sinar dengan nilai diatas frekuensi fungsi kerja logam dipancarkan pada

elektroda katoda dengan menentukan persamaan (3) maka energi kinetic dapat diperoleh. Tabel 3 memperlihatkan hasil perhitungan untuk nilai titik ambang batas dari fungsi kerja logam dengan menggunakan persamaan (5), sedangkan tabel 4 memperlihatkan hasil pengukuran dan perhitungan energi kinetic pada pengujian fungsi masing-masing logam.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Energi Kinetik

Elektroda (Katoda)	Teori (x 10 ⁻¹⁹ J)		Simulasi (x 10 ⁻¹⁹ J)	
	λ (nm)	f ₀ (GHz)	λ (nm)	f ₀ (GHz)
Sodium	545	550	539	557
Zenc	288	1.040	288	1.040
Copper	264	1.140	263	1.140
Platinum	195	1.540	196	1.540

Pengujian ini dilakukan untuk menghitung nilai Energi kinetic electron Untuk memperoleh nilai energi kinetic tersebut pada hasil pengujian maka digunakan persamaan (6) sebagai berikut;

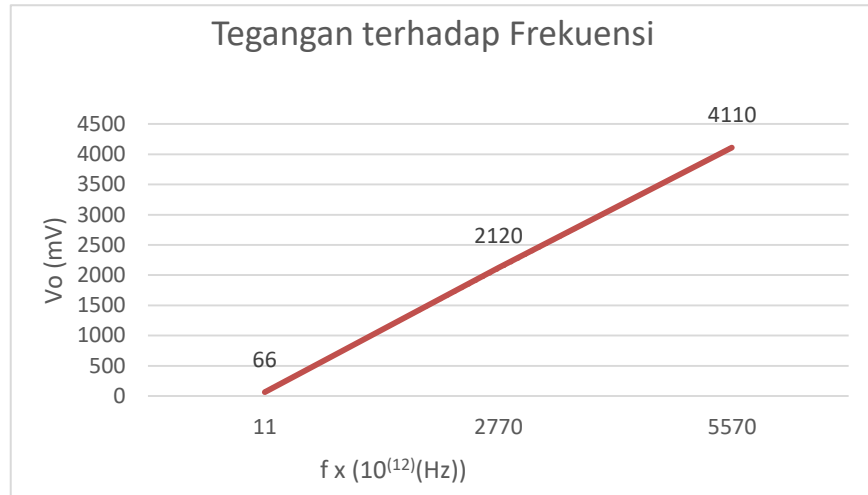
$$E_k = h * f - h * f_0 \dots\dots\dots (6)$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Energi Kinetik

Elektroda (Katoda)	λ (nm)	f (GHz)	I (mA)	V ₀ (mV)	h*f (x10 ⁻¹⁹)	Ek (x10 ⁻²⁰ Joule)	
						Simulasi	Teori
Sodium h*f ₀ = 364*10 ⁻¹⁹ J	488	615	16	10	4,07	3,85	4,37
	375	800	29	940	5,30	16,1	16,6
	180	167	1.588	4.560	11,00	73,6	74,1
Zenc h*f ₀ = 104*10 ⁻¹⁵ J	265	1.130	16	11	7,50	5,99	5,96
	174	1.720	763	277	11,4	45,2	45,2
	125	2.400	1.103	5.570	15,9	90,0	90,0
Copper h*f ₀ = 7,53*10 ⁻¹⁹ J	225	1.330	81	66	8,83	12,8	28,5
	180	1.670	470	2120	11,0	34,9	35,1
	120	2.500	1.048	4.110	16,6	90,1	90,4
Platinum h*f ₀ = 104*10 ⁻¹⁵ J	171	1.750	85	79	11,6	10,3	9,94
	138	2.170	548	2620	14,4	42,6	42,3
	116	2.590	1024	4330	17,1	69,9	69,6

Data tabel 3 juga diperoleh dari nilai tegangan penghenti (V₀) yang diperoleh dengan mengatur potensial tegangan pada simulasi PhET. Langkah

dalam mengatur tegangan penghenti dilakukan secara perlahan sehingga tidak terjadi pergerakan electron atau nilai arus bernilai 0 mA. Dengan menggunakan tabel 4 dapat digambarkan grafik hubungan antara tegangan penghenti terhadap frekuensi yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Grafik Tegangan Penghenti Terhadap Frekuensi

PEMBAHASAN

Pengujian simulasi menggunakan PhET pada logam berupa natrium (*Sodium*) mempunyai fungsi kerjanya yang berbeda dengan bahan logam lainnya seperti Seng (*Zenc*) Tembaga (*Copper*) dan logam Platina (*Platiunum*). Dengan memperhatikan tabel 2 dan tabel 3 terlihat bahwa pada logam Sodium efek foto listrik secara teori terjadi pada Panjang gelombang 545 nm/s atau identic dengan 550×10^{12} Hz. Sedangkan pada pengujian simulasi PhET efek foto listrik terjadi pada 539 nm/s atau 557×10^{12} Hz. Ini merupakan fungsi kerja (ambang batas frekuensi) dari logam tersebut. Dengan silisih antara simulasi dengan teori terbesar 1,39063%. Sedangkan nilai selisih terkecil adalah 0,039913% untuk logam Seng. Semakin tinggi frekuensi yang diberikan semakin minim Panjang gelombang yang dihasilkan.

Tabel 4 memperlihatkan perhitungan dari nilai energi kinetic pada gerakan electron pada masing masing jenis logam yang berbeda. Memberikan Panjang gelombang diatas fungsi kerja logam akan menghasilkan Gerakan electron yang semakin cepat sehingga akan menunjukkan nilai arus I dalam satuan mA. Terdapat 3 panjang gelombang yang berbeda pada cahaya yang diberikan untuk mengetahui perbandingan energi kinetic pada electron tersebut. Energi kinetek tersebut sebanding dengan tegangan penghenti (potensial penghenti) pada masing-masing logam. Gambar 3 memperlihatkan grafik hubungan antara tegangan penghenti (V_0) terhadap frekuensi yang diberikan.

Berdasarkan teori efek foto listrik maka electron mengalir Ketika mencapai fungsi kerja dari setiap logam tersebut. Mengalirnya electron akibat beda potensial antara elektroda katoda terhadap anoda. Tegangan penghenti sebanding dengan energi kinetic Gerakan electron. Gambar 3 memperlihatkan garis linear hubungan antara tegangan penghenti dan nilai frekuensi cahaya pengujian. Semakin minim Panjang gelombang maka energi yang dihasilkan akan semakin besar sehingga energi kinetic sebanding dengan tegangan penghenti yang diberikan. Besarnya tegangan penghenti mengindikasikan besarnya energi kinetic elektron yang mengalir

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Hasil perbandingan pengujian simulasi computer dengan menggunakan PhET simulation terhadap teori adalah 0,03 % hingga 1,39%. Sedangkan perhitungan energi kinetic electron adalah 1%.

PENELITIAN LANJUTAN

Penelitian juga dapat dilakukan pada aplikasi efek foto listrik seperti pengontrolan, sensor dengan menggunakan simulasi untuk menambah pemahaman dari peserta didik. Disamping beberapa *PhET Simulations* dapat digunakan pada jenis percobaan fisika lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ungkapan terima kasih kepada rekan-rekan AKOM Bantaeng khususnya program studi kimia analisis yang telah mengakomodasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N. R. (2020). *Sejarah Perkembangan Fisika (Kuantum) dari Klasik Hingga Modern*. 4(3), 57-71. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17085.08160>
- Anwar, K., Isnaini, M., & Utami, L. S. (2013). Eksperimen efek foto listrik berbasis simulasi PhET. *Paedagogia: Jurnal Kajian, Penelitian Dan Pengembangan Kependidikan*, 4(2), 9-15.
- Arifin, M. M., Prastowo, S. B., & Harijanto, A. (2022). Efektivitas Penggunaan Simulasi PhET Dalam Pembelajaran Online Terhadap Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.19184/jpf.v11i1.30612>
- Habibulloh, M. (2019). Analisis Ragam Miskonsepsi Siswa Pada Konsep Efek Foto Listrik. *Jurnal Reforma*, 7(2), 48. <https://doi.org/10.30736/rfma.v7i2.70>
- Jannah, M. (2020). Peningkatan Keterampilan Generik Sains Mahasiswa Prodi Pendidikan Fisika Melalui Eksperimen pada Pembelajaran Media dan

- Bahan Ajar Fisika. *Jurnal Phi; Jurnal Pendidikan Fisika Dan Terapan*, 2019(1), 17–30.
- Jylkkä, J., & Railo, H. (2019). Consciousness as a concrete physical phenomenon. *Consciousness and Cognition*, 74, 102779.
- Kusworo, H., & Winarti, I. (2013). *Penentuan Konstanta Planck Menggunakan Perangkat Lunak Physics Education Technology (PhET)*. 1–7.
- Mulyadi, E. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Efek Fotolistrik pada Pembelajaran Fisika di SMK. *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, 7(2), 206–211.
- Muzana, S. R., Lubis, S. P. W., & Wirda. (2021). Penggunaan Simulasi PhET terhadap Efektivitas Belajar IPA. *Jurnal Dedikasi Pendidikan*, 5(1), 227–236. <http://jurnal.abulyatama.ac.id/index.php/dedikasi>
- Ouahi, M. Ben, Hou, M. A., & HassounI, T. (2021). Opinions of Moroccan teachers towards the use of PhET simulations in teaching and learning physics–chemistry. *2020 6th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt)*, 274–278.
- Ramlan, A., & Aminuddin, B. (2017). Menentukan Fungsi Kerja Dan Frekuensi Ambang Material Katoda Melalui Percobaan Efek Fotolistrik. In *Jurnal Penelitian Sains* (Issue 5, pp. 18–26).
- Ramlan, R., & Bama, A. A. (2017). Menentukan Fungsi Kerja dan Frekuensi Ambang Material Katoda Melalui Percobaan Efek Fotolistrik. *Jurnal Penelitian Sains*, 5.
- Riyadi, K., & Rizaldy, N. N. (2021). Teknik Pengambilan Data Praktikum Photovoltaic. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 17(2), 30–35.
- Rokhaniyah. (2019). Alat praktikum fisika untuk menentukan panjang gelombang dan frekuensi spektrum matahari. *Jurnal ORBITH*, 15(2), 47–55.
- Santofani, A., & Rosana, D. (2016). Pengembangan tes kreativitas pada pembelajaran fisika dengan pendekatan inkuiri pada materi teori kinetik gas. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 2(2), 134–144.
- Sijabat, A. (2020). *Ekperimen Fisika Dasar*. Forum Pemuda Aswaja.
- Supurwoko, S., Cari, C., Sarwanto, S., Sukarmin, S., Budiharti, R., & Dewi, T. S. (2017). Virtual Lab Experiment: Physics Educational Technology (PhET) Photo Electric Effect for Senior High School. *International Journal of Science and Applied Science: Conference Series*, 2(1), 381.

<https://doi.org/10.20961/ijsascs.v2i1.16750>

Sutarno, E., & Hayat, dan M. S. (2017). Kuantum Cahaya. *Titian Ilmu: Jurnal Ilmiah Multi Sciences*, IX(2), 51-58.

Wahid, D. (2015). *Modeling Instruction pada Materi Fisika Modern*. 1, 97-104.

Yunita, Y., Halim, A., & Safitri, R. (2020). Meningkatkan Penguasaan Konsep Mahasiswa Dengan Simulasi Physics Eduaction and Technology (PhET). *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 7(1), 16-22.
<https://doi.org/10.24815/jpsi.v7i1.13492>