



Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika (JPIF)
Fakultas Pendidikan Islam dan Keguruan
Universitas Garut
p-ISSN: 2798-9488 e-ISSN: 2798-334X

DIY Innovations in Quantum Physics: Proving Light Dualism with Photoelectric Effect and Double Slit Experiments

Annisa Khoirul Hidayati^{1*}, Azzafa Izzulhaq¹, Rias Oktamaypasha¹, Salsa Billa Indah Rini¹

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia
Jl. Colombo Yogyakarta No. 1, Sleman.

*email: annisakhoirul.2022@student.uny.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.52434/jpif.v4i1.3428>

Accepted: January 26, 2024 Approved: June 23, 2024 Published: Juni 30, 2024

ABSTRACT

This research aims to prove the dualism of the nature of light with the photoelectric effect experiment and the double slit experiment using simple tools. The experimental analysis method was used for this research. The photoelectric effect experiment that has been carried out successfully proves that light behaves as a particle, this is evidenced by $f > f_0$, light emitted as small particles called photons. The double slit experiment conducted with one of the wave properties, namely interference, also proved that light behaves as a wave, resulting in the formation of dark and bright patterns. Both experiments can be conducted using simple tools, despite the limited facilities of the laboratory, so this experiment can still be done by utilizing existing tools and materials as an alternative.

Keywords: Double Slit, Dualism of Light, Particles, Photoelectric Effect, Waves

Inovasi DIY dalam Fisika Kuantum: Membuktikan Dualisme Cahaya dengan Eksperimen Efek Fotolistrik dan Celah Ganda

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan dualisme sifat cahaya dengan eksperimen efek fotolistrik dan eksperimen celah ganda menggunakan alat-alat sederhana. Jenis metode penelitian yang digunakan adalah metode analisis eksperimental. Eksperimen efek fotolistrik yang telah dilakukan berhasil membuktikan bahwa cahaya bersifat sebagai partikel, hal ini dibuktikan dengan $f > f_0$, cahaya yang dipancarkan sebagai partikel-partikel kecil yang disebut foton. Eksperimen celah ganda dilakukan dengan salah satu sifat gelombang yaitu interferensi, eksperimen berhasil membuktikan bahwa cahaya bersifat sebagai gelombang, yaitu terbentuknya pola gelap terang. Kedua eksperimen ini dapat dilakukan menggunakan alat sederhana, walaupun fasilitas laboratorium terbatas. Eksperimen ini tetap dapat dilakukan dengan memanfaatkan alat dan bahan sederhana sebagai alternatif.

Kata kunci: Celah Ganda, Dualisme Cahaya, Efek Fotolistrik, Gelombang, Partikel.

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu semua bidang kehidupan mengalami perubahan dan perkembangan, tak terkecuali pada bidang ilmu pengetahuan, polemik kehidupan membawa arus perkembangan zaman. Melalui normal sains yang manusia anut, mereka turut serta mengikuti paradigma yang telah diterima masyarakat ilmiah (Aini et al., 2020). Salah satu nya adalah ilmu pengetahuan, terutama materi pada bidang fisika, di mana fisika merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari gejala dan fenomena yang terjadi di alam semesta ini (Heryanto et al., 2023).

Fisika klasik adalah fisika yang didasari prinsip-prinsip yang dikembangkan sebelum bangkitnya teori kuantum, biasanya termasuk teori relativitas khusus dan teori relativitas umum, mekanika klasik (hukum gerak Newton, Lagrange serta Mekanika Hamiltonian), elektrodinamika klasik, dan termodinamika klasik, fisika klasik sebagian besar menjelaskan fenomena dalam dunia makroskopik. Perubahan saintifik dalam Fisika yang terkenal adalah pemahaman mengenai sifat cahaya sebagai gelombang (Coccia, 2020). Adapun anomali yang stagnan dalam unsur fisika klasik terjadi pada beberapa fenomena seperti radiasi benda hitam, efek fotolistrik, efek compton, dan difraksi elektron. Adanya kegagalan fisika klasik dalam menjelaskan anomali tersebut menyebabkan ditemukannya norma-norma ilmiah baru sebagai solusinya. Fisika modern merupakan salah satu bagian dari ilmu Fisika yang mempelajari perilaku materi dan energi pada skala atomik dan partikel-partikel subatomik atau gelombang. Teori modern menawarkan konsep kuantum untuk menjelaskan anomali yang terjadi sehingga paradigma sains mengenai cahaya harus berubah total. Perubahan paradigma mengenai sifat cahaya sebagai gelombang harus berubah menjadi dualisme gelombang dan partikel.

Cahaya merupakan salah satu gelombang elektromagnetik. Cahaya tidak memerlukan media perantara untuk merambat (Wahyuni & Prabawani, 2017). Cahaya adalah radiasi elektromagnetik yang memantulkan gelombang dan partikel bernilai. Cahaya berbentuk paket energi kecil yang disebut foton. Setiap gelombang mempunyai panjang gelombang atau frekuensi. Mata manusia melihat setiap panjang gelombang sebagai warna yang berbeda (Hasibuan, 2020). Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik kasat mata yang memiliki panjang gelombang sekitar 380-750 nm. Cahaya tersusun atas paket-paket kecil atau foton, foton memiliki spektrum cahaya yang dapat dipersepsikan secara visual berupa warna (Mulyanti et al., 2018). Cahaya sebagai gelombang memiliki sifat-sifat atau karakteristik diantaranya, cahaya dapat merambat lurus, cahaya dapat dipantulkan, cahaya dapat menembus benda bening, cahaya dapat mengalami interferensi, cahaya dapat dibiaskan, cahaya dapat diuraikan, cahaya dapat mengalami difraksi, cahaya mengalami polarisasi, cahaya dapat diserap, cahaya memiliki energi, cahaya dapat merambat tanpa media, cahaya memiliki sifat dualisme, cahaya dapat dipancarkan dalam bentuk radiasi, serta cahaya terdiri dari berbagai warna (Putra, 2022). Cahaya sendiri memiliki sifat gelombang sehingga dapat dianalisis dengan cara gelombang.

Gelombang merupakan suatu getaran yang mengalami perambatan pada suatu medium yang membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lainnya. Gelombang dapat merambat melalui zat cair, padat, dan gas. Menurut Prof. Yohanes Surya, Ph.D. dalam buku berjudul *Getaran dan Gelombang* (Surya, 2009), getaran yang merambat ini menghantarkan energi dan bergerak dalam kecepatan tertentu, namun tidak menyeret materi atau media yang dilewati (Irvani et al., 2022). Berdasarkan jenis media perantara perambatannya gelombang dibedakan menjadi dua jenis yaitu

gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik merupakan jenis gelombang yang memerlukan media perantara, sedangkan gelombang elektromagnetik dalam perambatannya tidak memerlukan media perantara. Contoh dari gelombang elektromagnetik yaitu gelombang cahaya, sinar x, dan gelombang radio (Sukarno, 2020).

Partikel merujuk pada entitas sangat kecil dan berdimensi yang dapat berbagai sifat fisik atau kimia seperti volume dan massa. Rentang ukuran dan jumlah partikel sangat luas, mulai dari partikel sub atom seperti elektron hingga partikel mikroskopis seperti atom molekul (Setiawan et al., 2021). Dalam konteks ini, partikel digunakan untuk membentuk model ilmiah dari objek yang lebih besar, bergantung pada kerapatan partikel itu sendiri, seperti simulasi gerakan manusia dalam kerumunan atau pergerakan benda langit di alam semesta (Mikelsten et al., 1957).

Ketika suatu benda terdiri dari kumpulan partikel, istilah yang sering digunakan adalah "partikulat" (Sudiro, 2020). Konsep partikel dan partikulat ini penting dalam pemahaman struktur materi dan perilaku alam semesta secara keseluruhan, membantu ilmuwan dan peneliti dalam merancang model-model yang menjelaskan fenomena fisik dan kimia yang terjadi di alam. Dengan memahami sifat-sifat partikel dan interaksi antar mereka, kita dapat menggali lebih dalam tentang dunia mikroskopis dan makroskopis, serta memperluas pemahaman kita tentang alam semesta yang kompleks ini.

Dualisme sifat cahaya, yang merujuk pada sifat partikel dan gelombang cahaya, merupakan salah satu konsep unik dalam fisika kuantum. Menurut teori Planck, cahaya adalah bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik dan juga dapat dijelaskan sebagai partikel diskrit yang disebut foton (Nugraha, 2022). Eksperimen seperti celah ganda dan efek fotolistrik membantu dalam memahami dualisme ini (Manurung et al., 2018). Konsep bahwa cahaya dapat bersifat sebagai partikel dan gelombang secara bersamaan dalam kondisi tertentu dinyatakan dalam teori dualisme gelombang-partikel (Alonso & Finn, 1967).

Eksperimen "*double-slit*" yang dilakukan oleh Thomas Young pada tahun 1801, dengan cahaya melewati dua celah sempit, menghasilkan pola gelap dan terang pada layar, menunjukkan sifat gelombang cahaya (Thomas, 2020). Ketika gelombang dari dua celah bertemu pada layar, interferensi menghasilkan pola terang dan gelap berdasarkan fase gelombang yang bertemu (Matejak Cvenic et al., 2023). Sementara itu, eksperimen efek fotolistrik yang dilakukan oleh Albert Einstein pada tahun 1905 mendukung sifat partikel cahaya. Dalam efek fotolistrik, cahaya menyebabkan pelepasan elektron dari logam, dengan energi cahaya diserap secara diskrit oleh materi, mendukung pandangan bahwa cahaya dapat dipahami sebagai partikel (Mulyanti et al., 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk menguji dualisme cahaya, baik sebagai partikel maupun gelombang menggunakan alat-alat sederhana. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dan mempermudah pemahaman bagi peserta didik tentang konsep dualisme sifat cahaya. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi alternatif praktikum yang berguna bagi pembelajaran lebih lanjut dalam memperkuat pemahaman mengenai sifat kompleks cahaya sebagai partikel dan gelombang. Dengan demikian, penyajian temuan ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam mendalami konsep fisika kuantum yang menarik dan kompleks ini kepada para pelajar.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian yang menggunakan metode analisis eksperimental. Metode eksperimental merupakan metode penelitian eksperimen termasuk metode penelitian dalam penelitian kuantitatif. Fraenkel dan Wallen menyatakan bahwa eksperimen berarti mencoba, mencari, dan mengkonfirmasi (Fraenkel & Wallen, 2006). Gordon L Patzer menyatakan bahwa hubungan sebab-akibat adalah inti dari penelitian eksperimen, berarti jika variabel independen diubah-ubah nilainya akan merubah nilai dependen (Yuliani & Supriatna, 2023). Metode penelitian eksperimen dilakukan secara sengaja oleh peneliti dengan cara memberikan *treatment*/perlakuan tertentu terhadap subjek untuk mengetahui pengaruh sebab akibat antara variabel independen dan dependen (Jaedun, 2011). Hal ini berarti peneliti harus dapat mengontrol seluruh variabel yang akan mempengaruhi *outcome* kecuali variabel independen (*treatment*) yang telah ditetapkan (Fahrezzy, 2021). Jadi, metode analisis eksperimental adalah metode penelitian eksperimen yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam studi eksperimental.

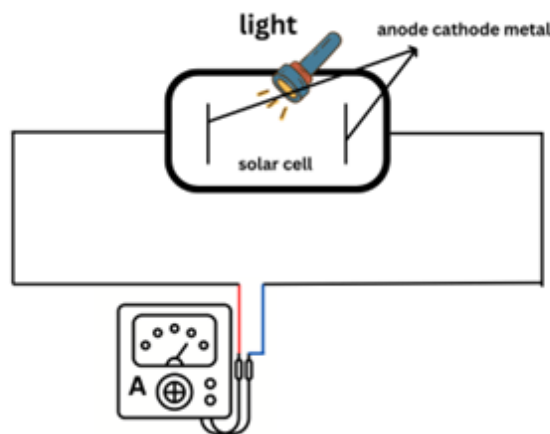
Variabel yang digunakan pada eksperimen efek fotolistrik ada tiga jenis. Pertama, warna mika sebagai variabel bebas, mika digunakan untuk menyaring cahaya senter yang membuat warna senter berubah sesuai dengan warna mika yang dipasang. Eksperimen ini menggunakan 5 warna mika yang berbeda, yaitu merah, hijau, kuning, biru dan ungu, warna mika akan mempengaruhi besar arus listrik yang dihasilkan. Kedua, jarak senter dengan mika sebagai variabel tetap, jarak senter dengan mika dibuat tetap, sehingga dapat diketahui hubungan warna mika dengan besar arus listrik yang dihasilkan. Besar arus listrik yang dihasilkan sebagai variabel terikat. Penampakan alat dan skema eksperimen efek fotolistrik yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Adapun skema yang digunakan dalam eksperimen ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 1. Alat Eksperimen Efek Fotolistrik



Gambar 2. Bagian Dalam Alat Eksperimen Efek Fotolistrik



Gambar 3. Skema Eksperimen Efek Fotolistrik

Alat dan bahan yang diperlukan pada eksperimen efek fotolistrik ini dapat dilihat pada Tabel 1. Alat dan bahan ini untuk satu set alat eksperimen

Tabel 1. Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Eksperimen Fotolistrik

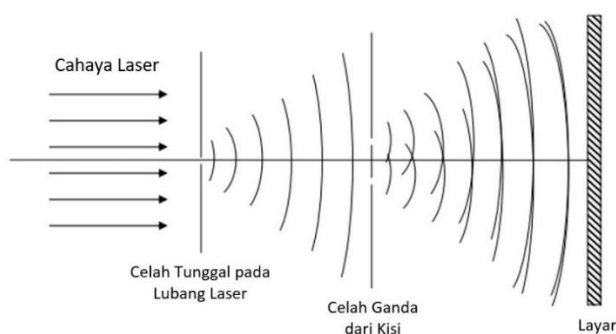
No.	Nama Alat/ Bahan	Keterangan
1	Box	Bahan karton
2	Mika Warna	Secukupnya
3	Panel Surya	110 x 69 mm 5V 1,1 W 220 mA
4	Multimeter	Satu buah
5	Gunting	Satu buah
6	Lem	Secukupnya
7	Kabel	Secukupnya
8	Senter	Satu buah

Panel surya dihubungkan dengan amperemeter dan ditempatkan dalam kotak. Se mika warna diletakkan di atas kotak, dan cahaya dari senter diarahkan ke mika tersebut. Jarum amperemeter akan menyimpang, dengan besarnya simpangan bergantung pada warna mika yang digunakan. Panel surya menyerap elektron dari cahaya senter, menghasilkan arus listrik yang diukur oleh amperemeter.

Eksperimen ini menggunakan panel surya sebagai sumber energi, berbeda dengan eksperimen efek fotolistrik yang menggunakan logam anode dan katode seperti yang dilakukan oleh Albert Einstein pada tahun 1905. Eksperimen ini masuk dalam kategori efek *fotovoltaik*, di mana energi cahaya langsung diubah menjadi energi listrik. Konsep ini pertama kali ditemukan oleh ilmuwan Prancis bernama Alexander Edmond Becquerel pada tahun 1839. Becquerel menemukan bahwa dengan menggunakan dua elektroda yang dilapisi dengan bahan sensitif terhadap cahaya seperti AgCl dan AgBr, serta ditempatkan dalam sebuah kotak hitam yang diisi dengan campuran asam, saat disinari dengan berbagai jenis cahaya, akan menghasilkan arus listrik kecil. Tenaga listrik yang dihasilkan meningkat seiring dengan peningkatan intensitas cahaya yang diterima (Samosir, 2018).

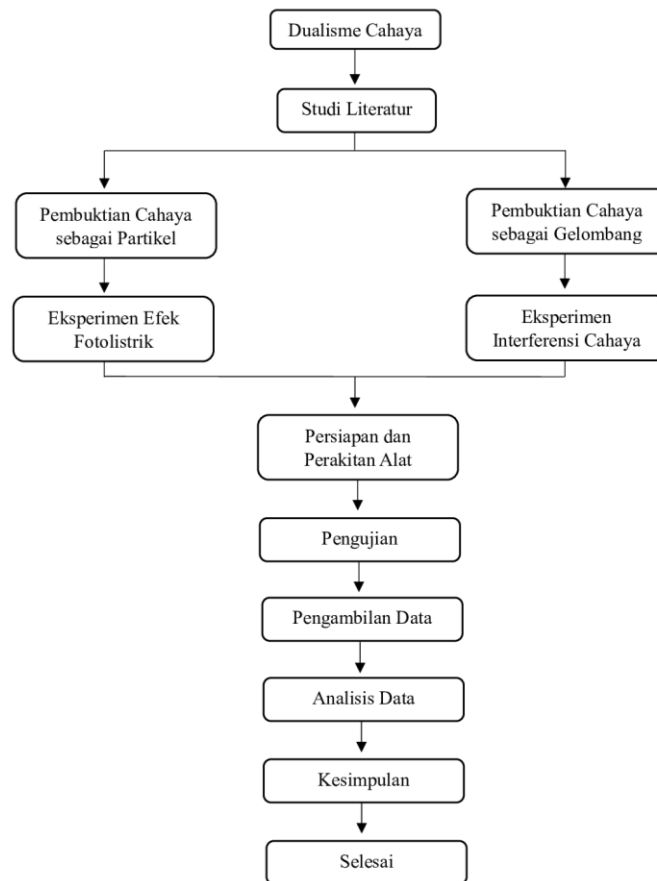
Variabel yang digunakan pada eksperimen celah ganda ada tiga jenis. Pertama, kisi sebagai variabel bebas dalam eksperimen celah ganda. Kisi yang digunakan berupa sehelai rambut, sehelai benang dan 1 buah jarum pentul. Kisi diletakkan tepat di tengah lubang cahaya laser, sehingga menghasilkan 2 celah atau celah ganda. Kedua, jarak antara kisi dengan layar sebagai variabel tetap. Ketiga, jarak pola gelap terang sebagai variabel terikat. eksperimen celah ganda menggunakan alat-alat berupa kisi, bidang datar atau layar berupa kertas putih, penggaris dan laser dengan panjang gelombang 430-450 nm. Eksperimen dilakukan dengan menembakkan cahaya laser mengenai kisi sehingga akan menghasilkan pola gelombang ketika melewati dua celah. Kemudian, mengamati hasil pola interferensi yang dihasilkan. Terbentuknya interferensi membuktikan bahwa sifat cahaya sebagai gelombang. Hal ini sesuai dengan eksperimen yang dilakukan oleh Thomas Young pada tahun 1801-1805, yaitu dengan menggunakan cahaya matahari yang dilewatkan dalam sebuah celah sempit, yang kemudian dilewatkan lagi dalam suatu celah ganda (Dwandaru, 2005).

Skema dari eksperimen celah ganda ini dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar ini menunjukkan sinar laser yang melewati celah tunggal, kemudian melewati kisi celah ganda. Di depan kisi celah ganda ini disimpan layar untuk mengamati pola yang dibentuk oleh sinar laser.



Gambar 4. Skema Eksperimen Celah Ganda Sumber: <https://eprints.uny.ac.id>

Skema yang dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan melalui Gambar 5. Skema ini dilakukan untuk memperoleh data dan menganalisis data hasil eksperimen efek fotolistrik dan eksperimen interferensi cahaya.



Gambar 5. Skema Penelitian

Pembuktian dualisme cahaya dimulai dengan pencarian literatur dualisme cahaya, menggunakan eksperimen efek fotolistrik untuk menunjukkan sifat partikel cahaya dan eksperimen celah ganda untuk mengilustrasikan sifat gelombang cahaya. Tahap awal melibatkan studi literatur dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan internet untuk memastikan konsistensi antara eksperimen yang direncanakan dengan teori yang ada dalam literatur.

Setelah penelitian literatur selesai, langkah berikutnya adalah menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk merakit alat eksperimen efek fotolistrik dan celah ganda berdasarkan prinsip interferensi gelombang. Setelah perangkat selesai dirancang, dilanjutkan dengan uji coba alat untuk memastikan fungsionalitasnya sesuai dengan teori yang ada. Jika alat telah terbukti efektif, maka dilakukan pengambilan data.

Pengambilan data dilakukan pada kedua alat, yaitu efek fotolistrik dan celah ganda, untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan guna membuktikan dualisme cahaya melalui pendekatan eksperimen yang terkontrol dan terukur. Tahapan ini merupakan bagian integral dari

proses ilmiah yang sistematis untuk memvalidasi konsep dualisme cahaya melalui observasi dan pengukuran yang teliti. Pada eksperimen efek fotolistrik, data yang diambil yaitu besar arus listrik listrik yang dihasilkan pada setiap warna mika yang berbeda. Pada eksperimen celah ganda, data yang diambil meliputi lebar kisi dan lebar pola terang. Data yang diperoleh dalam setiap eksperimen kemudian dianalisis dan dihubungkan dengan teori yang ada. Berikut ini adalah kondisi untuk dapat terjadi efek fotolistrik:

$$\begin{aligned} E &> W_0 \\ hf &> hf_0 \\ f &> f_0 \quad \dots(1) \end{aligned}$$

Keterangan:

- E = energi foton (J)
 W_0 = energi ambang batas logam (J)
 H = konstanta Planck ($4,136 \times 10^{-15}$ eVs)
 f = frekuensi foton (Hz)
 f_0 = frekuensi ambang batas logam (Hz)

Berdasarkan atas analisis persamaan di atas, didapatkan bahwa syarat terjadinya efek fotolistrik ketika frekuensi foton atau cahaya lebih besar dari frekuensi ambang batas material, yaitu logam pada sel surya. Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan, frekuensi ambang setiap warna yang dihasilkan tiap mika, didapat data frekuensi ambang batas, panjang gelombang dan energi foton pada setiap warna. Data yang diperoleh ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Frekuensi, Frekuensi Ambang Batas, Panjang Gelombang dan Energi Foton

Warna	Panjang Gelombang (nm)	Frekuensi (THz)	Frekuensi Ambang Batas (f_0) (THz)	Energi Foton (eV)
Merah	620	400-484	400	1,65-2,00
Kuning	570	508-526	508	2,10-2,17
Hijau	495	526-606	526	2,17-2,50
Biru	450	606-668	606	2,50-2,75
Ungu	380	668-789	668	2,75-3,26

Untuk menemukan frekuensi foton, Anda dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \rightarrow \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad \dots(2)$$

Di mana c adalah kecepatan cahaya, yaitu 3×10^8 m/s, dan λ adalah panjang gelombang. Panjang gelombang berbeda untuk tiap warna, dapat dilihat pada Tabel 2. Setelah analisis data selesai, dilakukan pembahasan dan kemudian diambil kesimpulan mengenai pembuktian dualisme cahaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksperimen ini dirancang dengan tujuan utama untuk menguji dualisme cahaya menggunakan pendekatan alat sederhana. Dengan fokus pada pembuktian sifat cahaya sebagai partikel dan

gelombang, eksperimen ini terbagi menjadi dua bagian utama. Pertama, melalui eksperimen efek fotolistrik, akan ditunjukkan sifat partikel cahaya yang terwakili oleh foton. Di sisi lain, eksperimen kedua, yakni eksperimen celah ganda, dirancang untuk membuktikan sifat gelombang dari cahaya melalui fenomena interferensi. Dengan kombinasi kedua eksperimen ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai dualisme cahaya dan bagaimana cahaya dapat bersifat sebagai partikel dan gelombang secara bersamaan. Melalui pendekatan ini, eksperimen tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memperdalam pengetahuan kita tentang sifat kompleks dari cahaya dan fenomena fisika yang melibatkan dualisme cahaya. Data hasil eksperimen efek fotolistrik berupa warna mika dan besar arus listrik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Eksperimen Efek Fotolistrik

Warna Mika	Arus Listrik ($I \pm 0,05$) $\times 10^{-3}$ A	Panjang gelombang (nm)
Merah	0,10	620
Kuning	0,20	570
Hijau	0,25	495
Biru	0,35	450
Ungu	0,40	380

Hasil eksperimen menghasilkan data bahwa besarnya arus meningkat ketika nilai panjang gelombang menurun, di mana warna mika yang memiliki panjang gelombang terpanjang adalah mika warna merah dan yang paling kecil adalah mika warna ungu. Semakin kecil nilai panjang gelombang, semakin besar arus yang mengalir dan sebaliknya. Karena semakin besar panjang gelombangnya, frekuensi yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga jumlah energi kinetik dalam foton menjadi kecil. Energi kinetik digunakan untuk mengirimkan elektron foton ke anoda. Dimana, semakin kecil energi kinetik, semakin sedikit dan lambat elektron foto tiba di anoda, menyebabkan arus yang dihasilkan menjadi kecil, dan sebaliknya. Oleh karena itu, hubungan antara arus dan panjang gelombang berbanding terbalik. Terjadinya efek fotolistrik dibuktikan dengan membandingkan frekuensi foton (f) dengan frekuensi ambang foton (f_0), jika f lebih besar dari f_0 , maka membuktikan terjadinya efek fotolistrik. Data perbandingan frekuensi cahaya dan frekuensi ambang batas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Frekuensi Cahaya dan Frekuensi Ambang Batas

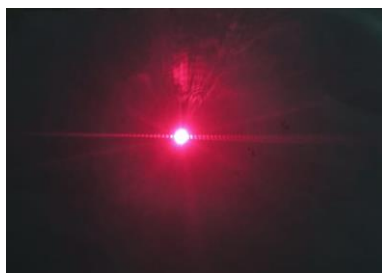
Warna	Frekuensi Cahaya (f) (THz)		Frekuensi Ambang Batas (f_0) (THz)	Deskripsi
Merah	400-484	>	322	Sesuai
Kuning	508-526	>	355	Sesuai
Hijau	526-606	>	152	Sesuai
Biru	606-668	>	220	Sesuai
Ungu	668-789	>	670	Sesuai

Berdasarkan tabel perbandingan f dan f_0 dapat dilihat bahwa untuk semua filter warna memiliki nilai frekuensi cahaya lebih besar dari frekuensi ambang batas, sehingga membuktikan terjadinya peristiwa efek fotolistrik. Eksperimen ini dapat dilihat bahwa prinsip kerja sel surya sama dengan efek fotolistrik. Prinsip kerja panel surya dikenal dengan prinsip fotovoltaik, foton yang merupakan partikel penyusun cahaya dengan energi $E=hf$ akan diteruskan ke permukaan logam yang berperan sebagai katoda. Ketika pelat logam diterangi oleh cahaya ($f > f_0$), elektron akan dilepaskan dengan interaksi satu lawan satu, yaitu, setiap satu foton melepaskan satu elektron, energi kinetik maksimum elektron akan menghasilkan arus listrik (Defawati, 2019). Jadi, cahaya yang dipancarkan sebagai partikel kecil disebut foton. Data dari eksperimen celah ganda untuk membuktikan sifat cahaya sebagai gelombang ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Eksperimen Celah Ganda

Jenis Kisi	Lebar Kisi ($\times 10^{-3}$ m)	Lebar Pola Cerah ($\times 10^{-2}$ m)	Rata-rata Lebar Pola Cerah ($\times 10^{-2}$ m)
Rambut	0,02	0,3	0,3
		0,2	
		0,3	
		0,3	
		0,3	
Benang	0,08	0,2	0,2
		0,2	
		0,2	
		0,2	
		0,2	
Jarum	0,10	0,01	0,1
		0,01	
		0,01	
		0,01	
		0,01	

Eksperimen celah ganda menggunakan laser berwarna merah dengan panjang gelombang (λ) 430-450 nm dan jarak celah ke layar ($\pm 0,05$) 10^{-2} m. Eksperimen tersebut menghasilkan pembuktian salah satu sifat gelombang, yaitu interferensi cahaya, sehingga dapat membuktikan bahwa cahaya sebagai gelombang. Pola interferensi yang terbentuk pada setiap kisi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 6. Interferensi Cahaya pada Rambut



Gambar 7. Interferensi Cahaya pada Benang



Gambar 8. Interferensi Cahaya pada Jarum Pentul

Pola interferensi cahaya pada berbagai jenis kisi menunjukkan variasi lebar pola gel terang yang dikan. Misalnya, kisi rambut dengan lebar $0,02 \times 10^{-3}$ m memiliki rata-rata pola gelap terang sebesar $0,03 \times 10^{-2}$ m. Sebaliknya, kisi benang dengan lebar $0,08 \times 10^{-3}$ m memiliki rata-rata lebar pola gelap terang sebesar $0,2 \times 10^{-2}$ m, dan kisi pada jarum pentul dengan lebar $0,01 \times 10^{-3}$ m memiliki rata-rata pola gelap terang sebesar $0,1 \times 10^{-2}$ m. Data ini menunjukkan bahwa semakin lebar kisi yang digunakan, semakin sempit atau lebar pola cahaya yang dihasilkan.

Eksperimen celah ganda menghasilkan data yang memperkuat prinsip interferensi cahaya, di mana gangguan cahaya disebabkan oleh superposisi gelombang cahaya, menciptakan pola terang dan gelap pada layar gangguan. Pola terang terjadi saat puncak gelombang dari dua sumber cahaya bertemu, sementara pola gelap terjadi ketika puncak gelombang dari satu sumber bersinggungan dengan lembah gelombang dari sumber lain. Meskipun eksperimen ini dapat dilakukan dengan berbagai alat dan bahan yang beragam, dari yang mahal dan kompleks hingga yang sederhana dan ekonomis, penting untuk dicatat bahwa eksperimen tidak selalu memerlukan peralatan mahal. Dalam konteks ini, fleksibilitas dalam mencari alternatif alat yang tersedia di sekitar dapat menjadi solusi yang efektif. Kendati demikian, kendala seperti keterbatasan kamera dalam mengambil gambar pola interferensi dalam eksperimen gangguan cahaya dapat mempengaruhi kejelasan hasil yang didapatkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa cahaya dapat seperti gelombang dan partikel, dibuktikan dengan eksperimen pada efek fotolistrik dan celah ganda. Terjadinya efek fotolistrik dapat ditentukan dengan membandingkan frekuensi foton (f) dengan frekuensi ambang foton (f_0), jika f lebih besar dari f_0 maka terbukti bahwa terjadinya peristiwa

efek fotolistrik dan diperoleh bahwa cahaya yang dipancarkan sebagai partikel kecil disebut foton, ini membuktikan cahaya adalah partikel. Pada eksperimen celah ganda dihasilkan salah satu sifat gelombang yaitu interferensi cahaya, sehingga hal ini membuktikan bahwa cahaya dapat bersifat sebagai gelombang. Eksperimen yang dilakukan berhasil karena telah sesuai dengan teori yang ada. Namun, eksperimen efek fotolistrik belum dapat mengukur frekuensi cahaya dan frekuensi ambang batasnya, karena data yang diperoleh berupa besar arus listrik di setiap filter warna dan jarak sumber cahaya ke sel surya. Kedua eksperimen ini dapat dilakukan dengan alat sederhana, meskipun dengan keterbatasan fasilitas media praktikum yang disediakan, sehingga eksperimen ini tetap dapat dilakukan dengan memanfaatkan alat dan bahan yang ada sebagai alternatif. Berdasarkan kesimpulan penelitian, bagi peneliti selanjutnya yang akan melakukan kajian yang sama diharapkan dapat mengimplementasikannya pada peserta didik sebagai media praktikum, sehingga dapat meningkatkan pemahaman materi terkait efek fotolistrik dan celah ganda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama, kami mengucapkan terima kasih kepada Ibu Rida Siti Nur'aini Mahmudah, S.Si., M.Si. sebagai dosen fisika kuantum yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan pengetahuan yang berharga selama proses penelitian ini. Dukungan beliau dalam memberikan wawasan, saran, dan kritik konstruktif telah membantu kami mengembangkan pemahaman yang lebih baik tentang topik penelitian kami. Selanjutnya, terima kasih kepada teman-teman sekelompok yang telah bekerja sama dalam penelitian ini. Kolaborasi yang baik dan kerja tim yang solid adalah kunci kesuksesan dalam penelitian. Terima kasih atas dedikasi, kerja keras, dan kontribusinya dalam mengumpulkan data, menganalisis hasil, dan menyusun laporan penelitian. Selain itu, kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada teman-teman kami yang memberikan bantuan, dukungan moral dan semangat selama proses penelitian ini.

REFERENSI

- Aini, N. R., Irianto, I. D., Hamid, A. A., & Thompson, B. B. (2020). Sejarah Perkembangan Fisika (Kuantum) Dari Klasik Hingga Modern. *Diktat Kuliah Termodinamika*, 4 (3), 22–32.
- Alonso, M., & Finn, E. J. (1967). *Fundamental university physics* (Vol. 2). Addison-Wesley Reading, MA.
- Coccia, M. (2020). The evolution of scientific disciplines in applied sciences: dynamics and empirical properties of experimental physics. *Scientometrics*, 124(1), 451–487.
- Dwandaru, W. S. B. (2005). *Menuju Interpretasi Statistik Eksperimen Celah Ganda: Analisis Variabel Acak (Bagian I)*.
- Fahrezzy, A. W. (2021). Peningkatan Keterampilan Menggiring Bola Dalam Permainan Sepak bola Melalui Bentuk Latihan Bermain Siswa Kelas IV Di SD Negeri Cipancuh Haurgeulis. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Universitas Subang (SENDINUSA)*, 3(1), 90–93.
- Fraenkel, J. R., & Wallen, N. E. (2006). *How to design and evaluate research in education 2006*. Mc Grawall Hill.
- Hasibuan, S. (2020). Pengendalian terpadu hama pada tanaman cabai (*capsicum annum* l) dengan menggunakan perangkap fluorensen dan berbagai perangkap warna. *Seminar Nasional Multi*

Disiplin Ilmu Universitas Asahan.

- Heryanto, S. H., Aprianti, S., Pelani, R. R., & Irvani, A. I. (2023). Penggunaan E-learning Madrasah dalam Proses Pembelajaran Fisika di MAN 2 Garut. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 3(1), 172–178.
- Irvani, A. I., Adawiyah, Y., Sadidah, A., Agustini, R. P., & Putriani, V. (2022). *Modul Ajar Optik Geometri*. Semesta Aksara.
- Jaedun, A. (2011). Metodologi penelitian eksperimen. *Fakultas Teknik UNY*, 12.
- Manurung, S. R., Harahap, M. B., Rustaman, N. Y., & Brotosiswoyo, B. S. (2018). Implementasi Laboratorium Virtual Dalam Pembelajaran Pendahuluan Fisika Kuantum Untuk Meningkatkan Kemahiran Generik. *Jurnal Kependidikan: Penelitian Inovasi Pembelajaran*, 2(02), 382–394.
- Matejak Cvenic, K., Ivanjek, L., Planinic, M., Jelicic, K., Susac, A., Hopf, M., & Cindric Brkic, M. (2023). Probing high school students' understanding of interference and diffraction of light using standard wave optics experiments. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 20118.
- Mikelsten, D., Teigens, V., & Skalfist, P. (1957). *Perlombaan untuk penaklukan ruang*. Cambridge Stanford Books.
- Mulyanti, R. M., Yulianto, A., & Astuti, B. (2018). Miskonsepsi mahasiswa pendidikan fisika pada materi efek fotolistrik. *Phenomenon: Jurnal Pendidikan MIPA*, 8(1), 36–45.
- Nugraha, D. A. (2022). Kaleidoscope Of The Dualism Of Light As A Form Of Self-Respect With The Universe Verses. *EduFisika: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 88–95.
- Putra, R. M. (2022). *Cahaya Dan Penerapan Sifat-Sifat Cahaya*. CV MEDIA EDUKASI CREATIVE.
- Samosir, A. (2018). *Perancangan Sell Surya (Photovoltaik) untuk Mendistribusikan Panas pada Kotak Pengereng Biji Kopi*".
- Setiawan, H. R., Rakhmadi, A. J., & Raisal, A. Y. (2021). Pengembangan media ajar lubang hitam menggunakan model pengembangan addie. *Jurnal Kumparan Fisika*, 4(2), 112–119.
- Sudiro, S. (2020). *Modul pembelajaran fisika SMA kelas XI: karakteristik gelombang mekanik*.
- Sukarno, B. B. (2020). Radiasi Elektromagnetik Fisika XII. *Prabumulih: Direktorat SMA*.
- Surya, Y. (2009). *Getaran dan Gelombang-Persiapan Olimpiade Fisika*. KANDEL.
- Thomas, J. I. (2020). The classical double slit experiment—a study of the distribution of interference fringes formed on distant screens of varied shapes. *European Journal of Physics*, 41(5), 55305.
- Wahyuni, S., & Prabawani, A. (2017). Kisi Difraksi dengan Menggunakan Batang Talas (*Colocasia esculenta*). *Unnes Physics Journal*, 6(1), 74–77.

Yuliani, W., & Supriatna, E. (2023). *Metode Penelitian Bagi Pemula*. Penerbit Widina.