

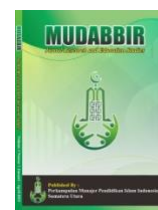


JURNAL MUDABBIR

(Journal Research and Education Studies)

Volume 5 Nomor 1 Tahun 2025

<http://jurnal.permapendis-sumut.org/index.php/mudabbir>



ISSN: 2774-8391

Visualisasi Pola Difraksi Berbasis Pemrograman Arduino Uno Menggunakan Sensor BH1750 dan *Tracker*

Ryna Aulia Falamy¹, Kartini Herlina²,
Hanifah Zakiya³, Sri Rahayu⁴, Wardatul Janah⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Lampung, Indonesia

Email: rynaafalamy@fkip.unila.ac.id, kkartini.herlina@gmail.com,
hanifahzakiya@fkip.unila.ac.id, sriahayu2206sr@gmail.com, wardatuljanah@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memvisualisasikan pola difraksi cahaya berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor cahaya BH1750 dan perangkat lunak *Tracker*. Visualisasi ini untuk membantu siswa dalam memahami fenomena difraksi cahaya melalui pendekatan eksperimen yang interaktif dan berbasis STEM. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan ketebalan kawat (0,008 mm, 0,029 mm, dan 0,05 mm) serta jarak antara kisi dan layar (50 cm, 75 cm, dan 100 cm) guna mengamati perubahan pola difraksi yang terbentuk. Sensor BH1750 digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya secara real-time, sementara aplikasi *Tracker* menganalisis citra pola difraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola difraksi dipengaruhi secara signifikan oleh ketebalan penghalang dan jarak terhadap layar, di mana kawat lebih tipis dan jarak lebih jauh menghasilkan pola yang lebih lebar dan jelas. Temuan ini membuktikan bahwa alat bantu berbasis mikrokontroler Arduino Uno dapat digunakan secara efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep difraksi secara visual dan kuantitatif, serta dapat diterapkan sebagai media pembelajaran fisika di SMA.

Kata Kunci: *Arduino Uno, Difraksi Cahaya, Sensor BH1750.*

ABSTRACT

This study aims to visualize the diffraction pattern of light based on the Arduino Uno microcontroller integrated with the BH1750 light sensor and Tracker software. This visualization is to help students understand the phenomenon of light diffraction through an interactive and STEM-based experimental approach. The experiment was conducted by varying the thickness of the wire (0.008 mm, 0.029 mm, and 0.05 mm) and the distance between the grating and the screen (50 cm, 75 cm, and 100 cm) to observe changes in the diffraction pattern formed. The BH1750 sensor is used to detect light intensity in real-time, while the Tracker application analyzes the diffraction pattern image. The results showed that the diffraction

pattern was significantly affected by the thickness of the barrier and the distance to the screen, where thinner wires and greater distances produce wider and clearer patterns. These findings prove that the Arduino Uno microcontroller-based aid can be used effectively to improve the understanding of the concept of diffraction visually and quantitatively, and can be applied as a physics learning medium in high school.

Keywords: *Arduino Uno, Light Diffraction, BH1750 Sensor.*

PENDAHULUAN

Fisika sebagai salah satu mata pelajaran sains di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA) memiliki peranan penting dalam membentuk kemampuan berpikir kritis, analitis, dan solutif siswa. Namun, dalam praktiknya, masih ditemukan banyak kesulitan siswa dalam memahami konsep-konsep abstrak, salah satunya pada materi difraksi cahaya. Difraksi merupakan fenomena penyebaran gelombang saat melewati celah sempit atau penghalang, yang menghasilkan pola-pola gelombang interferensi cahaya yang rumit untuk divisualisasikan secara langsung (Maulana et al., 2023). Konsep ini memerlukan pemahaman mendalam tentang sifat gelombang, prinsip Huygens, hingga hubungan antara panjang gelombang dan intensitas cahaya (Lutfia & Putra, 2020). Tanpa alat bantu yang memadai, proses belajar seringkali menjadi sekadar hafalan rumus, bukan pemahaman konseptual.

Dalam peristiwa difraksi dikenal suatu kisi difraksi yang terdiri atas sebaris celah sempit yang saling berdekatan dalam jumlah banyak. Kisi difraksi biasanya digunakan untuk menentukan panjang gelombang Cahaya (Kholifudin, 2017). Pemahaman konsep ini sering kali menjadi tantangan bagi siswa. Salah satu penyebabnya adalah kurangnya alat praktis yang dapat digunakan untuk mengamati dan memvisualisasikan fenomena difraksi secara langsung (Jehadu et al., 2020). Di sisi lain, terbatasnya fasilitas laboratorium di banyak sekolah menjadi hambatan utama dalam pelaksanaan eksperimen optik. Banyak sekolah tidak memiliki alat khusus untuk menampilkan dan mengukur pola difraksi, yang membuat pembelajaran difraksi hanya disampaikan secara teoritis dengan penjelasan yang mengandalkan rumus dan ilustrasi diagram tanpa dukungan demonstrasi langsung (Datangeji et al., 2019). Pendekatan ini sering kali kurang efektif untuk membantu siswa memahami hubungan antara parameter fisik, seperti panjang gelombang, lebar celah, dan pola difraksi yang dihasilkan.

Hal ini menurunkan minat dan partisipasi aktif siswa dalam pembelajaran. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam bentuk alat eksperimen yang sederhana, terjangkau, dan tetap memiliki akurasi serta daya tarik visual. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat adalah pemanfaatan mikrokontroler Arduino dalam pendidikan sains (Nugroho, 2018). Arduino Uno merupakan platform elektronik *open-source* yang mampu mengendalikan berbagai sensor dan perangkat output, dan telah terbukti meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran berbasis PjBL (*Project Based Learning*) (Wahdah et al., 2023).

Dalam eksperimen difraksi ini, digunakan sensor cahaya digital BH1750 yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap intensitas cahaya dan mampu memberikan data dalam satuan *lux* secara *real-time* (Agriawan et al., 2021). Sensor ini terhubung ke Arduino Uno, yang kemudian mengirimkan data ke perangkat lunak pendukung. Untuk meningkatkan kejelasan dan akurasi visualisasi, data yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan *Tracker*, yaitu aplikasi perangkat lunak analisis video yang umum digunakan dalam pembelajaran fisika untuk mempelajari gerak dan perubahan intensitas secara spasial (Agriawan et al., 2021). Dengan konfigurasi ini, siswa dapat mengamati dan mencatat perubahan intensitas cahaya pada pola difraksi yang dihasilkan oleh laser atau sumber cahaya monokromatik saat melewati celah ganda (Maulana et al., 2023). Visualisasi berbasis *Tracker* memungkinkan siswa untuk melihat pola difraksi secara digital, melakukan pengukuran posisi maksimum dan minimum intensitas, serta memetakan grafik yang menghubungkan antara posisi dan intensitas cahaya (Saito et al., 2023).

Integrasi perangkat teknologi seperti Arduino, sensor BH1750, dan *Tracker* dalam eksperimen ini sangat relevan dengan pendekatan pembelajaran berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) (Bano et al., 2024). Pendekatan STEM menekankan penggabungan berbagai disiplin ilmu untuk menyelesaikan masalah nyata, serta mendorong siswa untuk berpikir sistematis dan kreatif (Syukri et al., 2021). Dalam kegiatan eksperimen ini, siswa tidak hanya belajar teori fisika, tetapi juga mempraktikkan dasar-dasar pemrograman, merakit sistem elektronik, serta menggunakan perangkat lunak analisis ilmiah. Keterlibatan aktif siswa dalam merancang dan menjalankan eksperimen diyakini mampu meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan abad 21, serta motivasi belajar siswa (Novitra, 2021).

Selain itu, penggunaan alat berbasis teknologi sederhana ini memungkinkan pelaksanaan eksperimen yang fleksibel, baik di laboratorium sekolah maupun dalam konteks pembelajaran jarak jauh atau hybrid (Iskandar et al., 2020). Alat ini bersifat portabel, hemat biaya, dan mudah direplikasi oleh guru maupun siswa. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kualitas pembelajaran, tetapi juga mendukung pemerataan akses terhadap eksperimen fisika berkualitas di berbagai sekolah, termasuk yang berada di daerah dengan sumber daya terbatas (Lin et al., 2021).

Di lingkungan pendidikan, percobaan difraksi sering dilakukan untuk memperkenalkan siswa pada prinsip dasar optik dan sifat gelombang cahaya. Dengan melakukan penelitian ini siswa dapat memahami secara langsung bagaimana lebar celah, panjang gelombang cahaya, dan jenis sumber cahaya memengaruhi pola difraksi yang terbentuk dengan mengimplementasikan alat visualisasi pola difraksi cahaya berbasis Arduino Uno dan sensor BH1750 yang dikombinasikan dengan perangkat lunak *Tracker* pada siswa SMA.

METODE PENELITIAN

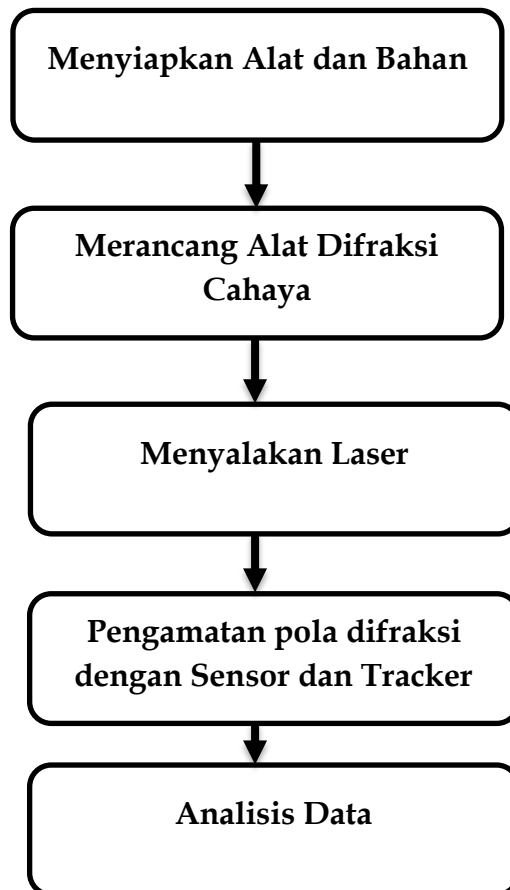
Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk menyelidiki fenomena difraksi cahaya. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini melibatkan manipulasi variabel independen, yaitu ketebalan kisi (kawat penghalang) dan jarak antara kisi dan layar, untuk mengamati pengaruhnya terhadap variabel dependen, yaitu pola difraksi cahaya yang dihasilkan. Prosedur penelitian dimulai dengan penyiapan alat dan bahan, meliputi Arduino Uno, laser, kabel jumper, sensor BH1750. Selanjutnya, dilakukan perangkaian alat difraksi secara sistematis, dimulai dari penempatan laser, kisi, hingga layar. Sensor cahaya BH1750 dihubungkan dengan Arduino Uno, yang kemudian diprogram menggunakan aplikasi Arduino IDE. Sensor tersebut dipasang pada papan layar difraksi untuk mengukur intensitas cahaya. Berikut merupakan gambar rangkaian alat.



Gambar 1. Rangkaian Alat Difraksi

Pengamatan pola difraksi dilakukan setelah laser dinyalakan dan melewati kisi. Data pola difraksi dikumpulkan melalui dua metode, yaitu pengamatan visual dan pengukuran dengan sensor. Selain itu, aplikasi *Tracker* digunakan untuk menganalisis pola difraksi dari gambar yang diambil menggunakan smartphone. Data yang terkumpul kemudian dianalisis secara deskriptif kualitatif untuk mendeskripsikan pola difraksi, serta analisis grafik untuk mengamati intensitas Cahaya.

Adapun Skema eksperimen yang dilakukan sebagai berikut,



Gambar 2. Skema Eksperimen


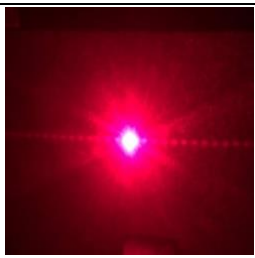
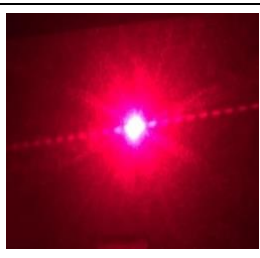
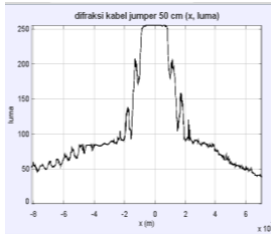
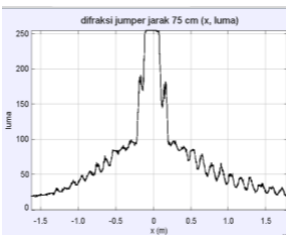
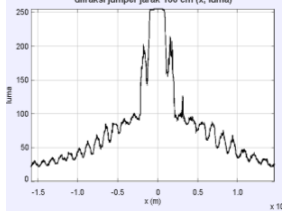
HASIL DAN PEMBAHASAN

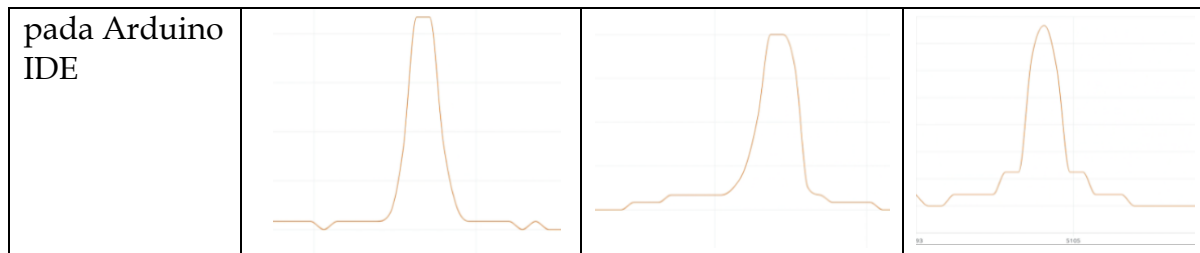
Pembuatan alat praktikum difraksi cahaya ini menggunakan variable bebas berupa ketebalan kawat yang digunakan dan juga jarak antara kawat atau kisi terhadap layar difraksi. Ketebalan kawat yang digunakan yaitu 0,008 mm, 0,029 mm, dan 0,05 mm dan jarak yang digunakan yaitu 0,5 m, 0,75 m, dan 1 m. Kemudian untuk menganalisis hasil difraksi yang digunakan kami menggunakan sensor BH1750 yang merupakan sensor cahaya dan aplikasi *Tracker*.

Penelitian ini menghasikan pola difraksi dan grafik pola difraksi. alat ini dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh ketebalan kawat yang digunakan serta jarak antara kawat atau kisi dan layar terhadap pola difraksi yang dihasilkan. Ketika sinar laser ditembakkan ke kawat tipis maka akan terbentuk pola pada layar, pada layar sudah dipasangkan sensor BH1750. Sensor BH1750 dirancang untuk dapat bergerak ke kanan dan kiri yang digerakkan oleh servo motor. Ketika sensor melewati pola difraksi maka sensor akan membaca intensitas cahaya pada pola difraksi yang kemudian ditampilkan dalam grafik. Sensor ini bekerja berdasarkan intensitas cahaya sehingga ketika sensor melewati bagian yang terang maka grafiknya akan naik dan ketika melewati bagian gelap maka grafiknya akan turun. Sensor ini sangat tepat digunakan karena dapat mengamati pola difraksi yang berupa pola gelap terang.

Selain menggunakan sensor BH1750 pada analisis pola difraksi juga menggunakan aplikasi *Tracker*. Untuk menganalisis pola difraksi menggunakan aplikasi *Tracker* dilakukan dengan mengambil foto pola difraksi yang terbentuk kemudian memasukkan ke aplikasi *Tracker* pada laptop kemudian dilakukan proses track sehingga didapat grafik pola difraksi dan nilai intensitasnya dalam luma. Setelah dilakukan percobaan maka didapatkan data hasil percobaan pengaruh jarak pada ketiga objek pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 dan didapatkan data hasil percobaan pada variasi ketebalan pada Tabel 4.


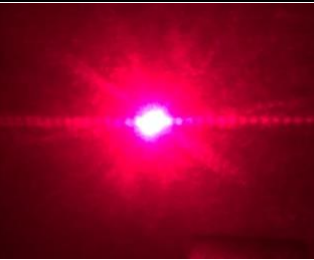
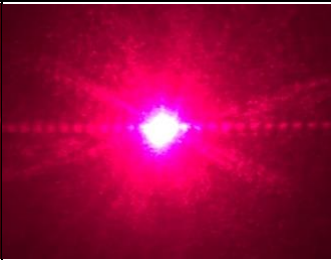
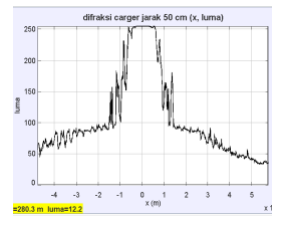
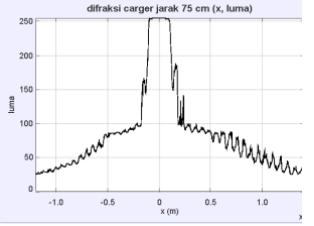
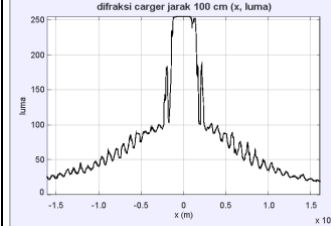



Tabel 1. Pengaruh Jarak pada Kawat Pertama (0,008 mm)

Jarak antara Kisi dengan Layar	50 cm	75 cm	100 cm
Pola Difraksi			
Grafik Hasil Tracker			
Gelombang			




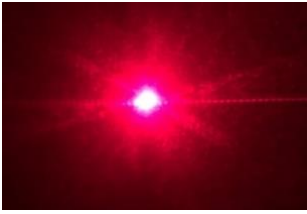
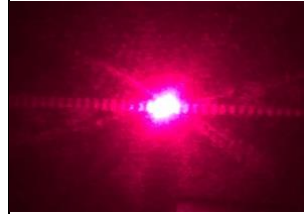
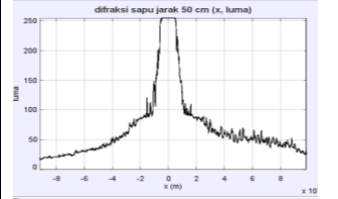
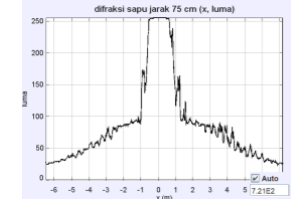
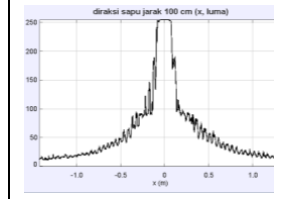


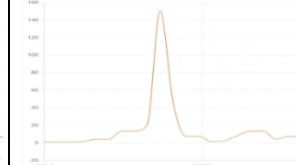
Hasil pengamatan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pengaruh jarak pada kawat pertama (0,008 mm) terhadap pola difraksi sangat signifikan, di mana peningkatan jarak antara kisi dan layar (50 cm, 75 cm, dan 100 cm) menyebabkan pola difraksi menjadi semakin melebar dengan pita terang dan gelap yang terlihat lebih jelas serta terpisah. Grafik intensitas dari *Tracker* memperkuat temuan ini, menunjukkan bahwa puncak intensitas cahaya di pusat menurun dan menyebar seiring bertambahnya jarak, mencerminkan distribusi cahaya yang lebih luas. Data dari sensor BH1750 melalui Arduino IDE menunjukkan pola gelombang yang konsisten, dengan kurva intensitas yang semakin landai pada jarak yang lebih jauh. Temuan ini sesuai dengan teori difraksi gelombang, di mana sudut dan jarak memengaruhi posisi dan bentuk pola interferensi, serta menunjukkan bahwa pemanfaatan Arduino dan sensor cahaya secara efektif dapat membantu siswa memvisualisasikan dan memahami konsep abstrak dalam fisika secara lebih konkret dan interaktif.

Tabel 2. Pengaruh Jarak pada Kawat Kedua (0,029 mm)

Jarak antara Kisi dengan Layar	50 cm	75 cm	100 cm
Pola Difraksi			
Grafik Hasil Tracker			
Gelombang pada Arduino IDE			

Hasil pengamatan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pengaruh jarak pada kawat kedua (0,029 mm) terhadap pola difraksi tampak serupa dengan kawat pertama, namun dengan intensitas dan sebaran pola yang berbeda. Pada jarak 50 cm, pola difraksi tampak lebih rapat dan terpusat, sementara pada 100 cm pola menjadi lebih lebar dan pita-pita terang-gelapnya tampak lebih jelas. Grafik menunjukkan bahwa semakin jauh jarak layar dari kisi, puncak intensitas utama menjadi lebih rendah dan melebar, menandakan penyebaran energi cahaya yang lebih merata. Diameter kawat yang lebih besar menghasilkan sudut difraksi yang lebih kecil namun lebih rapat. Ini membuktikan bahwa baik jarak layar maupun diameter kawat memengaruhi pola difraksi, dan alat berbasis Arduino dengan sensor BH1750 mampu menangkap perbedaan ini secara akurat.

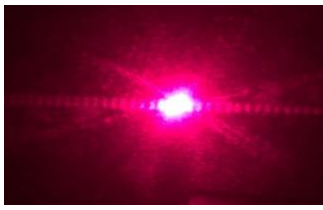


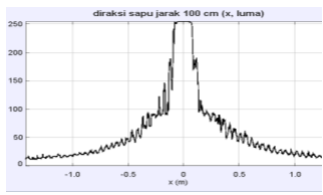
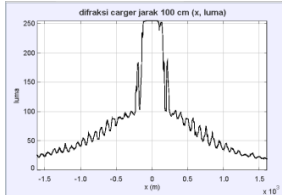
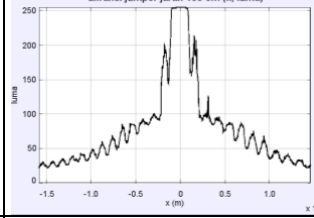
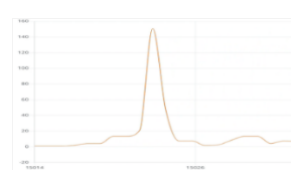


Tabel 3. Pengaruh Jarak pada Kawat Ketiga (0,05 mm)

Jarak antara Kisi dengan Layar	50 cm	75 cm	100 cm
Pola Difraksi			
Grafik Hasil Tracker			
Gelombang pada Arduino IDE			

Dan hasil Pada Tabel 3, terlihat bahwa pengaruh jarak pada kawat ketiga (0,05 mm) menghasilkan pola difraksi yang lebih rapat dan cenderung sempit dibanding dua kawat sebelumnya, baik pada jarak 50 cm, 75 cm, maupun 100 cm. Meskipun pola tetap mengalami pelebaran seiring bertambahnya jarak, pita terang dan gelap yang terbentuk tidak sejelas pada kawat berdiameter lebih kecil, mengindikasikan bahwa kawat dengan diameter lebih besar menghasilkan sudut difraksi yang lebih kecil. Grafik dari *Tracker* menunjukkan puncak intensitas yang relatif lebih tinggi dan sempit pada jarak dekat, serta mulai melebar dan menurun pada jarak yang lebih jauh. Sementara itu, data dari Arduino IDE dengan sensor BH1750 menunjukkan tren gelombang yang konsisten dengan grafik *Tracker*, memperlihatkan fluktuasi intensitas cahaya yang berkurang seiring peningkatan jarak layar. Perbandingan dengan dua kawat sebelumnya menunjukkan bahwa semakin besar diameter kawat, pola difraksi

cenderung lebih menyempit, dan jumlah pita terang yang tampak menurun. Ini menegaskan bahwa dimensi fisik kisi sangat memengaruhi pola difraksi yang terbentuk, dan penggunaan sistem berbasis Arduino memungkinkan visualisasi perbedaan tersebut secara lebih akurat dan mudah dipahami oleh siswa dalam pembelajaran fisika.

Tabel 4. Pengaruh Ketebalan pada Jarak 1 m

Ketebalan Kawat	0,05 mm (Kawat ketiga)	0,029 mm (Kawat kedua)	0,008 mm (Kawat pertama)
Pola Difraksi			
Grafik Hasil Tracker			
Gelombang pada Arduino IDE			

Pada tabel 4 merupakan hasil percobaan pada tiga ketebalan kawat yang berbeda pada jarak yang sama yaitu 1 m. Berdasarkan hasil percobaan dapat terlihat bahwa ketebalan kawat juga mempengaruhi pola yang terbentuk, pada ketebalan 0,05 mm pola yang terbentuk sangat rapat kemudian pada ketebalan 0,029 mm pola yang terbentuk lebih renggang, dan pada ketebalan 0,008 mm jarak antar pola paling lebar. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan berbanding terbalik dengan jarak antar pola gelap terang pada hasil difraksi, di mana semakin tebal kawat yang digunakan maka semakin kecil jarak antar pola sehingga hasil difraksinya semakin rapat. Sebaliknya semakin tipis kawat maka jarak antar pola yang terbentuk semakin lebar. Secara matematis, hubungan tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$L \sim P$$

L = jarak layar ke kisi (m)

P = lebar antara pola terang utama dan pola berikutnya (m)

$$D \sim 1/P$$

D = ketebalan kawat (m)

P = lebar pola terang utama dan pola berikutnya (m)

secara matematis dapat dirumuskan menjadi:

$$d \sin \theta = n \lambda$$

dengan n adalah pola gelap ke-n. Jarak L jauh lebih besar daripada lebar celah a ($L \gg a$), sehingga dapat menggunakan pendekatan sudut kecil, $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \frac{y}{L}$

Dengan demikian,

$$d \left(\frac{y}{L} \right) = n \lambda$$

Untuk pita terang:

$$d \left(\frac{y}{L} \right) = \left(n + \frac{1}{2} \right) \lambda$$

Di mana

d = lebar celah

θ = sudut difraksi

λ = panjang gelombang

n = adalah orde pola difraksi

y = jarak pita ke-n dengan terang pusat

Hasil eksperimen ini sesuai dengan teori difraksi cahaya, Difraksi adalah pembelokan gelombang di sekitar penghalang atau tepi sebuah celah. Ketika cahaya melalui celah sempit, gelombang cahaya akan membelok dan menyebar, menghasilkan pola terang dan gelap di layar yang disebut pola difraksi. Pola difraksi terjadi karena gelombang cahaya menyebar dan saling berinterferensi, Pola terang menunjukkan daerah dengan intensitas cahaya maksimum, akibat interferensi konstruktif, sementara pola gelap menunjukkan intensitas cahaya yang lebih rendah, disebabkan oleh interferensi destruktif (Datangeji et al., 2019).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan celah penghalang dan jarak antara kisi difraksi dengan layar secara signifikan memengaruhi pola difraksi cahaya yang terbentuk. Ketebalan penghalang berbanding terbalik dengan jarak antar pola terang dan gelap; semakin besar ketebalan celah, maka semakin rapat pola difraksi yang diamati. Sementara itu, jarak antara kisi dan layar berbanding lurus dengan jarak antar pola terang-gelap; semakin jauh jaraknya, maka pola yang terbentuk semakin renggang. Eksperimen ini berhasil memvisualisasikan fenomena difraksi cahaya dengan baik melalui sistem berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor intensitas cahaya BH1750. Selain itu, perangkat lunak *Tracker* digunakan untuk menganalisis distribusi posisi dan intensitas cahaya pada layar secara kuantitatif. Penggunaan *Tracker* memungkinkan pemetaan pola difraksi secara digital, akurat, dan terukur, sehingga memperkuat keandalan data hasil pengamatan. Dengan demikian, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak ini memberikan pendekatan yang efektif dan modern dalam studi fenomena optik, khususnya difraksi cahaya.

REFERENSI

- Agriawan, M. N., Sania, S., Rasmita, C., Wahyuni, N., & Maisarah, M. (2021). Prototype sistem lampu penerangan jalan otomatis menggunakan sensor cahaya berbasis Arduino Uno. *PHYDAGOGIC: Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya*, 4(1), 39–42.
- Bano, T. B., Widagda, I. G. A., Trisnawati, N. L. P., Wibawa, I. M. S., Putra, I. K., & Sandi, I. N. (2024). Perancangan Alat Ukur Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH1750 Berbasis Mikrokontroler ATmega328P. *Kappa Journal*, 8(1), 95–101.
- Datangeji, R. U., Warsito, A., Sutaji, H. I., & Laponi, L. A. S. (2019). Kajian Distribusi Intensitas Cahaya Pada Fenomena Difraksi Celah Tunggal Dengan Metode Bagi Dua Dan Metode Newton Raphson. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 4(2), 56–69.
- Iskandar, I., Sastradika, D., Jumadi, Pujiyanto, & Defrianti, D. (2020). Development of creative thinking skills through STEM-based instruction in senior high school student. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/4/042043>
- Jehadu, V., Warsito, A., Johannes, A. Z., & Louk, A. C. (2020). Visualisasi fenomena kombinasi difraksi dan interferensi pada celah ganda memanfaatkan metode secant berbasis pemrograman delphi. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 5(2), 156–162.
- Kholifudin, M. Y. (2017). Sinar laser mainan sebagai alternatif sumbu cahaya monokromatik praktikum kisi difraksi cahaya. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 8(2).
- Lin, K. Y., Wu, Y. T., Hsu, Y. T., & Williams, P. J. (2021). Effects of infusing the engineering design process into STEM project-based learning to develop preservice technology teachers' engineering design thinking. *International Journal*

- Lutfia, W., & Putra, N. M. (2020). Analisis Profil Pemahaman Konsep Dan Model Mental Siswa Di Sma Kesatrian 2 Semarang Pada Materi Interferensi Dan Difraksi Cahaya. *UPEJ Unnes Physics Education Journal*, 9(1), 27–35.
- Maulana, R., Iswanto, B. H., & Fitri, U. R. (2023). Digital Storytelling sebagai Media Pembelajaran Fisika Berbasis Proyek pada Materi Difraksi Celah Ganda. *Lontar Physics Today*, 2(3), 113–116.
- Novitra, F. (2021). Development of Online-Based Inquiry Learning Model to Improve 21st-Century Skills of Physics Students in Senior High School. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(9).
- Nugroho, Y. E. (2018). Kit Hand Made Berbahan Limbah untuk Meningkatkan Kompetensi Alat Optik. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 9(1), 45–52.
- Saito, K., Ichiyanagi, K., Fukaya, R., Haruki, R., Nozawa, S., Sasaki, D., Arai, T., Sasaki, Y. C., McGehee, K., & Saikawa, M. (2023). Visualization of the Dynamics of Photoinduced Crawling Motion of 4-(Methylamino) Azobenzene Crystals via Diffracted X-ray Tracking. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(24), 17462.
- Syukri, M., Yanti, D. A., Mahzum, E., & Hamid, A. (2021). Development of a PjBL model learning program plan based on a stem approach to improve students' science process skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(2), 269–274.
- Wahdah, N., Nugroho, K. A., & Jumadi, J. (2023). Enhance critical thinking skills in application of PjBL-STEM on fluids dynamics: A Literature Study. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(6), 89–94.