

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM INTERFERENSI CAHAYA
BERBANTUAN SENSOR KAMERA ESP-32 UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN PROSES SAINS**

(Skripsi)

Oleh

**Dita Shanda Putri
1913022005**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM INTERFERENSI CAHAYA BERBANTUAN SENSOR KAMERA ESP-32 UNTUK MELATIHKAN KETERAMPILAN PROSES SAINS

Oleh

DITA SHANDA PUTRI

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 yang dapat digunakan dalam pembelajaran materi interferensi cahaya di sekolah, serta untuk melatih keterampilan proses sains. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *Design Development and Research (DDR)* yang terbagi menjadi tiga tahap, yaitu analisis, desain dan pengembangan, dan evaluasi. Sebelum digunakan di lapangan, alat praktikum ini pertama kali diuji kelayakannya. Uji kelayakan alat praktikum interferensi cahaya dilakukan dengan melakukan uji validitas dan uji kepraktisan. Hasil uji validitas alat praktikum diperoleh persentase 86% dengan kategori sangat valid dan indikator kebermanfaatan alat praktikum pada keterampilan proses sains sebesar 81%. Hasil dari uji kepraktisan diperoleh nilai persentase 84% dengan kategori sangat praktis. Berdasarkan kedua uji kelayakan tersebut, dapat disimpulkan bahwa alat praktikum cocok digunakan dalam pembelajaran materi interferensi cahaya di sekolah, serta dapat melatih kemampuan keterampilan proses sains peserta didik.

Kata Kunci: Interferensi Cahaya, Kamera ESP-32, Keterampilan Proses Sains

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM INTERFERENSI CAHAYA
BERBANTUAN SENSOR KAMERA ESP-32 UNTUK MELATIHKAN
KETERAMPILAN PROSES SAINS**

Oleh

DITA SHANDA PUTRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA PENDIDIKAN**

Pada

**Program Studi Pendidikan Fisika
Jurusan Pendidikan Matematika Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM
INTERFERENSI CAHAYA BERBANTUAN
SENSOR KAMERA ESP-32 UNTUK
MELATIHKAN KETERAMPILAN PROSES
SAINS

Nama Mahasiswa : Dita Shanda Putri
Nomor Pokok Mahasiswa : 1913022005
Program Studi : Pendidikan Fisika
Jurusan : Pendidikan MIPA
Fakultas : Keguruan dan Ilmu Pendidikan



1. Komisi Pembimbing

Dr. Kartini Herlina, M.Si.
NIP. 19650616 199102 2 001

Anggreini, S.Pd., M.Pd.
NIP. 19910501 201903 2 029

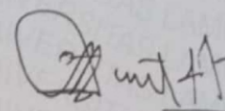
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA

Prof. Dr. Undang Rosidin, M.Pd.
NIP. 19600301 198503 1 003

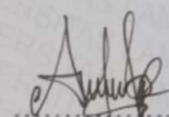
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

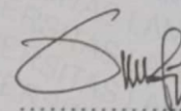
Ketua : Dr. Kartini Herlina, M.Si.



Sekretaris : Anggreini, S.Pd., M.Pd.



Penguji Bukan : Prof. Dr. Agus Suryatna, M.Si.



Pembimbing

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan



Prof. Dr. Sunyono, M.Si. NIP. 19651230 199111 1 001

Tanggal lulus ujian skripsi: 03 Oktober 2023

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah:

Nama : Dita Shanda Putri
NPM : 1913022005
Fakultas/Jurusan : KIP/Pendidikan MIPA
Program Studi : Pendidikan Fisika
Alamat : Gunung Sari 017/005, Desa Dadapan, Kecamatan
Sumberejo, Kabupaten Tanggamus

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali kutipan yang sudah saya tuliskan sumbernya dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 03 Oktober 2023



Dita Shanda Putri
1913022005

RIWAYAT PENULIS

Penulis bernama Dita Shanda Putri. Penulis lahir di Margoyoso pada tanggal 07 April 2001 yang merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan pertama dengan bersekolah di TK Tarbiyatus Sholihin pada tahun 2006 hingga 2007, kemudian dilanjutkan dengan menempuh pendidikan dasar di SD N 1 Dadapan pada tahun 2007 dan selesai pada tahun 2013. Selanjutnya penulis menempuh pendidikan menengah di SMP N 1 Sumberejo pada tahun 2013 hingga 2016 dan dilanjutkan dengan bersekolah di SMA N 1 Sumberejo pada tahun 2016 dan selesai pada tahun 2019. Penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di Universitas Lampung dengan Program Studi Pendidikan Fisika.

Pada tahun 2019, penulis diterima terdaftar sebagai mahasiswa program studi Pendidikan Fisika, Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan di Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Tahap demi tahap telah dilalui penulis, di mulai dari tahap Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Argomulyo, Kecamatan Sumberejo, Kabupaten Tanggamus pada bulan Januari-Februari 2022, serta pelaksanaan Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) yang harus dilaksanakan di dekat lokasi KKN yaitu SMP N 2 Sumberejo.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Al-Baqarah:286)

“Saya belajar kebenaran bahwa tidak ada apa pun di dunia ini yang mudah”

(Byun Baekhyun)

“Sulit, tapi harus dan lawan semua dengan do'a”

(Dita Shanda)

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya. Berkat karunianya peneliti dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mempersembahkan karya ini sebagai tanda bakti tulus kepada:

1. Ayahanda Sumarji dan Ibunda Sri Wiji yang telah memberikan dukungan moral maupun material serta do'a yang tiada henti untuk kesuksesan saya, karena tiada kata seindah lanjutan do'a dan tiada do'a yang paling khusuk selain do'a yang tercapai dari orang tua.
2. Kakak-kakak saya tercinta Jivi Anggesta, Fitriana Kurniati, Yogi Angga Prasetia, dan Irni Fitri yang selalu memberikan do'a semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Teman-teman yang selalu mendampingi saat suka dan duka.
4. Keluarga besar Almafika FKIP Unila.
5. Almamater tercinta Universitas Lampung.

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan nikmat-Nya. Berkat karunianya peneliti dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengembangan Alat Praktikum pada Pembelajaran Konsep Interferensi Cahaya Sederhana Berbantuan Sensor Kamera ESP-32 untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Fisika di Universitas Lampung. Peneliti menyadari bahwa terdapat bantuan dari berbagai pihak dalam penyusunan skripsi ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Sunyono, M.Si., selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Undang Rosidin, M.Pd. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Viyanti, S.Pd., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Lampung.
5. Bapak Prof. Dr. Agus Suyatna, M.Si., selaku Pembahas, atas kesediaan dan keikhlasan beliau dalam memberikan bimbingan, saran, dan kritik kepada peneliti selama menyusun skripsi.
6. Ibu Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing I, atas kesediaan, kesabaran, dan keikhlasan beliau dalam memberikan bimbingan, arahan, saran, dan motivasi kepada peneliti selama menyusun skripsi.
7. Ibu Anggreini, S.Pd., M.Pd., selaku Pembimbing II, atas kesediaan, kesabaran, dan keikhlasan beliau dalam memberikan bimbingan, arahan, saran, serta motivasi kepada peneliti selama menyusun skripsi.

8. Bapak dan Ibu Dosen serta Staff Program Studi Pendidikan Fisika dan Jurusan Pendidikan MIPA Universitas Lampung.
9. Ibu Haerani, S.Pd., M.Pd., selaku Guru Mitra SMA N 1 Gading Rejo yang telah bersedia menjadi validator alat praktikum yang saya kembangkan untuk penyusunan skripsi.
10. Ibu Siti Rohamah, S.Pd., selaku Guru Mitra SMA N 1 Sumberejo yang telah bersedia menjadi validator alat praktikum yang saya kembangkan untuk penyusunan skripsi.
11. Adik-Adik tingkat angkatan 2020 yang telah membantu selama penelitian berlangsung.
12. Bapak Suyatno atas kesediaan dan keikhlasan beliau dalam membantu pembuatan alat praktikum yang dikembangkan untuk membantu proses penyelesaian penyusunan skripsi.
13. Kak Nave Loi Lukasim atas kesediaan dan keikhlasannya dalam membantu pemrograman alat praktikum yang dikembangkan.
14. Teman-teman seperjuangan program studi Pendidikan Fisika angkatan 2019.

Semoga semua bantuan yang diberikan untuk peneliti mendapatkan balasan dari Allah SWT dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Aamiin.

Bandar Lampung, 03 Oktober 2023

Dita Shanda Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kajian Teori.....	7
2.1.1 Rangkaian Alat Praktikum	7
2.1.2 Keterampilan Proses Sains	9
2.1.3 <i>Hands-on Activity</i>	15
2.1.4 <i>Minds-on Activity</i>	17
2.1.5 Modul Kamera ESP-32.....	18
2.1.6 Aplikasi <i>Tracker</i>	19
2.1.7 LCD <i>Handphone</i> sebagai Kisi Interferensi	22
2.1.8 Interferensi Cahaya.....	23
2.1.9 Keterkaitan Aktivitas Praktikum dengan Keterampilan Proses Sains	33
2.2 Penelitian Relevan	34
2.3 Kerangka Pemikiran	37
2.4 Model Hipotetik Rangkaian Alat Praktikum.....	40
III. METODE PENELITIAN	41
3.1 Desain Penelitian Pengembangan.....	41
3.2 Prosedur Penelitian Pengembangan	43
3.2.1 Prosedur Tahap I (Studi Analisis)	43
3.2.2 Prosedur Tahap II (Desain dan Pengembangan)	43

3.2.3	Prosedur Tahap III (Evaluasi).....	47
3.3	Instrumen Penelitian	49
3.3.1	Angket Analisis Kebutuhan.....	49
3.3.2	Angket Kevalidan Produk	51
3.3.3	Angket Kepraktisan Produk.....	53
3.4	Teknik Analisis Data	55
3.4.1	Analisis Data Uji Validitas	55
3.4.2	Analisis Data Uji Kepraktisan	56
IV.	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1	Hasil Penelitian	58
4.1.1	Hasil Analisis Kebutuhan (<i>Preliminary Research</i>)	58
4.1.2	Hasil Desain dan Pengembangan	60
4.1.3	Hasil Evaluasi.....	74
4.2	Pembahasan.....	79
V.	SIMPULAN DAN SARAN	88
5.1	Simpulan	88
5.2	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		90

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Indikator Keterampilan Proses Sains	12
2. Karakteristik Tiap LCD.....	21
3. Penelitian yang Relevan.....	34
4. Komponen Penyusun Alat Praktikum Interferensi Cahaya	45
5. Kisi-kisi Angket Guru pada Analisis Kebutuhan.....	49
6. Kisi-kisi Angket Peserta Didik pada Analisis Kebutuhan	50
7. Kisi-kisi Angket Validasi Produk Alat Praktikum.....	51
8. Skala Likert pada Angket Uji Validitas	53
9. Kisi-kisi Angket Kepraktisan Produk Alat Praktikum.....	54
10. Skala <i>Likert</i> pada Angket Uji Kepraktisan.....	55
11. Konversi Skor Penilaian Uji Validitas	56
12. Konversi Skor Uji Kepraktisan	57
13. Pengaruh Jarak Kisi ke Layar Tangkap terhadap Pola Interferensi pada LCD 1.....	69
14. Pengaruh Jarak Kisi ke Layar Tangkap terhadap Pola Interferensi pada LCD 2.....	69
15. Pengaruh Jarak Kisi ke Layar Tangkap terhadap Pola Interferensi pada LCD 3.....	69
16. Pengaruh Jenis Kisi terhadap Pola Interferensi.....	70
17. Data Pengaruh Jarak Kisi ke Layar Tangkap terhadap Pola Interferensi pada LCD 1	73
18. Data Pengaruh Jarak Kisi ke Layar Tangkap terhadap Pola Interferensi pada LCD 2	73
19. Data Pengaruh Jarak Kisi ke Layar Tangkap terhadap Pola Interferensi pada LCD 3	73
20. Data Pengaruh Jenis Kisi terhadap Pola Interferensi	73
21. Hasil Uji Validitas.....	74
22. Hasil Uji Validasi Tiap Indikator	75
23. Saran Perbaikan oleh Validator.....	77
24. Hasil Uji Kepraktisan.....	78
25. Hasil Uji Kepraktisan Tiap Indikator	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Board ESP-32 <i>Camera</i>	17
2. Tampilan Aplikasi <i>Tracker</i>	19
3. Superposisi Gelombang Elektromagnetik.....	24
4. Eksperimen Celah Ganda Young	24
5. Analisis Interferensi Celah Ganda	25
6. <i>Double-slit</i> Interferensi	26
7. Interferensi Gelombang Cahaya yang Melewati Dua Celah.....	27
8. Kondisi Intensitas Maksimum Orde Pertama dan Kedua	28
9. Grafik Pola Interferensi Celah Banyak	29
10. Pola Interferensi Celah Banyak.....	29
11. Tampilan Jarak antar Pola Gelap Terang pada Layar dengan Jarak antar Celah (<i>Slit Separation</i>) 1200nm.....	30
12. Tampilan Jarak antar Pola Gelap Terang pada Layar dengan Jarak antar Celah (<i>Slit Separation</i>) 1500nm.....	30
13. Tampilan Jarak antar Pola Gelap Terang pada Layar dengan Jarak antar Celah (<i>Slit Separation</i>) 1800nm.....	30
14. Hasil Eksperimen Pola Interferensi Tiga Celah.....	31
15. Hasil dari Pola Interferensi dengan 2 Celah.....	31
16. Hasil dari Pola Interferensi dengan 3 Celah.....	32
17. Hasil dari Pola Interferensi dengan 4 Celah.....	32
18. Hasil dari Pola Interferensi dengan 8 Celah.....	32
19. Kerangka Pemikiran.....	39
20. Kerangka Alat Praktikum Interferensi Cahaya	40
21. Rangkaian Alat Praktikum Interferensi Cahaya.....	40
22. Prosedur Penelitian DDR	42
23. Rancangan Desain Alat Praktikum Interferensi Cahaya.....	44
24. Rangkaian Bagian Kamera ESP-32 pada Alat Praktikum	45
25. Prosedur Pembuatan Alat Praktikum Interferensi Cahaya.....	46
26. Diagram Alur Tanggapan Penelitian dan Pengembangan	48
27. Hasil Analisis Kebutuhan Media Pembelajaran yang dibutuhkan Guru.....	59
28. Hasil Analisis Kebutuhan Ketertarikan Media Pembelajaran oleh Peserta Didik	59
29. Produk Alat Praktikum Interferensi Cahaya Sederhana.....	61
30. Modul Kamera ESP-32 dan <i>Development Board</i> serta Posisinya pada Alat.....	62
31. Kabel USB dan Posisinya pada Alat.....	63
32. LCD <i>hp</i> dan Posisinya pada Alat	63
33. Laser dan Posisinya pada Alat	63

34. Toples Plastik dan Posisinya pada Alat	64
35. Paralon dan Posisinya pada Alat.....	64
36. Akrilik dan Posisinya pada Alat.....	65
37. Rel Horden dan Posisinya pada Alat.....	65
38. Memilih Jenis Kisi	66
39. Memasang Laser	66
40. Memasang Layar Tangkap.....	66
41. Memasang Modul Kamera.....	67
42. Menghubungkan Alat Praktikum ke Laptop	67
43. Menekan Tombol Reset	68
44. Mengatur Jarak Kisi dan Laser ke Layar	68
45. Hasil Percobaan Kisi LCD 1 dan Jarak 0,75 m.....	70
46. Hasil Percobaan Kisi LCD 1 dan Jarak 0,50 m.....	70
47. Hasil Percobaan Kisi LCD 1 dan Jarak 0,25 m.....	70
48. Hasil Percobaan Kisi LCD 2 dan Jarak 0,75 m.....	70
49. Hasil Percobaan Kisi LCD 2 dan Jarak 0,50 m.....	71
50. Hasil Percobaan Kisi LCD 2 dan Jarak 0,25 m.....	71
51. Hasil Percobaan Kisi LCD 3 dan Jarak 0,75 m.....	71
52. Hasil Percobaan Kisi LCD 3 dan Jarak 0,50 m.....	71
53. Hasil Percobaan Kisi LCD 3 dan Jarak 0,25 m.....	71
54. Hasil Percobaan Jenis Kisi LCD 1 dan Jarak 0,80 m.....	72
55. Hasil Percobaan Jenis Kisi LCD 2 dan Jarak 0,80 m.....	72
56. Hasil Percobaan Jenis Kisi LCD 3 dan Jarak 0,80 m.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Angket Analisis Kebutuhan Guru	98
2. Analisis Hasil Uji Kebutuhan Guru	105
3. Angket Analisis Kebutuhan Peserta Didik.....	111
4. Analisis Hasil Uji Kebutuhan Peserta Didik	118
5. Angket Validasi Media Pembelajaran.....	128
6. Analisis Hasil Validasi Media Pembelajaran	133
7. Angket Uji Respon Pengguna Media Pembelajaran	146
8. Analisis Hasil Uji Respon Pengguna Media Pembelajaran	153
9. Tampilan Alat Praktikum.....	173
10. Hasil Uji Coba Alat Praktikum	174

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembelajaran abad 21 dirancang untuk peserta didik mampu mengikuti arus perkembangan teknologi. Peserta didik diharuskan dapat menguasai empat aspek keterampilan belajar (4C), yaitu *critical thinking* (berpikir kritis), *communication* (komunikasi), *collaboration* (kolaborasi), dan *creativity* (kreativitas). Selain itu, pembelajaran abad 21 memberikan kesempatan peserta didik untuk aktif dalam proses belajar. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran pada abad 21 bergeser dari pembelajaran yang berpusat pada guru ke pembelajaran yang berpusat pada peserta didik (Redhana, 2019).

Salah satu pembelajaran yang berpusat pada peserta didik yaitu pembelajaran yang berfokus pada keterampilan proses sains. Keterampilan proses sains sangat penting bagi peserta didik agar dapat memahami dan melakukan proses ilmiah untuk menemukan dan mengembangkan konsep (Edie *et al.*, 2017). Keterampilan proses sains dapat digunakan untuk memecahkan masalah-masalah fisika yang dialami peserta didik dalam kehidupan sehari-hari (Zeidan & Jayosi, 2015). Keterampilan proses sains pada literasi pendidikan sains mengacu pada beberapa tindakan seperti mengobservasi, mengkomunikasi, mengklasifikasi, menginferensi, dan mengukur (Wijaya *et al.*, 2022).

Pembelajaran fisika merupakan pembelajaran yang berkaitan erat dengan fenomena atau kejadian dalam kehidupan sehari-hari, dengan mempelajari fenomena-fenomena tersebut dapat mengembangkan kemampuan berpikir

ilmiah peserta didik. Fenomena interferensi cahaya adalah salah satu komponen inti optik fisik karena memberikan bukti eksperimental pertama tentang sifat gelombang cahaya (Dai *et al.*, 2019). Penelitian yang telah dilakukan oleh Lutfia & Putra (2020) mengungkapkan bahwa peserta didik yang mengalami miskonsepsi disebabkan karena peserta didik masih kesulitan dalam menjelaskan konsep peristiwa interferensi. Miskonsepsi pada indikator menjelaskan syarat terjadinya interferensi cahaya dikarenakan sebagian peserta didik masih memiliki kendala dalam pelaksanaan proses pembelajaran dan pembacaan buku teks yang ada.

Hasil penelitian pendahuluan yang dilakukan peneliti kepada peserta didik dari sekolah menengah atas yang berbeda yaitu SMAN 1 Sumberejo, SMAN 1 Kotaagung, SMAN 1 Abung Semuli, dan SMAN 1 Pringsewu, didapatkan sebesar 44,4% peserta didik belum memahami materi interferensi cahaya karena materinya sulit dan pemahaman konsep masih kurang. Sebanyak 66,7% peserta didik tidak pernah melakukan praktikum mengenai konsep interferensi cahaya. Peserta didik memperoleh penjelasan materi dari guru melalui ceramah, diskusi, tanya jawab, dan latihan soal. Sebanyak 76,9% peserta didik berpendapat bahwa akan dapat memahami konsep materi interferensi cahaya jika mereka melakukan kegiatan praktikum dan bukan hanya pembelajaran di kelas dengan mendengarkan guru menjelaskan materi. Peserta didik akan lebih tertarik jika guru dalam menjelaskan materi menggunakan media berbasis alat (92,6% responden) dan video pembelajaran (40,7% responden).

Hasil penyebaran angket kepada guru di sekolah menengah atas yang berbeda, didapatkan persentase sebesar 60% responden menyatakan materi interferensi cahaya sulit untuk diajarkan karena peserta didik masih kurang dalam konsep dasar tentang cahaya. Terdapat 60% responden mengungkapkan bahwa dalam proses pembelajaran tidak dilakukan kegiatan praktikum karena ketidaktersediaan alat. Guru dalam menyampaikan materi biasanya menggunakan media tambahan seperti

penggunaan *powerpoint* dan video pembelajaran. Terdapat juga guru yang menggunakan *Phet Simulation* untuk melatih keterampilan peserta didik. Keterampilan proses sains peserta didik belum terlatih secara maksimal karena kurangnya pengalaman dan proses sains yang diberikan secara langsung. Guru berpendapat bahwa keterampilan tersebut dapat terlatih jika dalam proses pembelajaran dilakukan kegiatan praktikum dan ketersediaan alat praktikum di sekolah. Selain itu, penggunaan media pendukung lainnya seperti media berbasis aplikasi dan berbasis video pembelajaran akan membuat peserta didik tertarik dengan proses pembelajaran karena pembelajaran menjadi lebih kreatif dan tidak monoton.

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi menghasilkan berbagai perangkat elektronik yang dapat membantu dalam mengembangkan alat secara kreatif dan inovatif sesuai dengan tujuan pembelajaran. Dengan berbagai perangkat elektronik yang ada, rancang bangun alat praktikum yang dihasilkan lebih efektif, efisien, dan memiliki akurasi hasil pengukuran dan visualisasi yang lebih baik. Dengan didukung kemajuan teknologi yang pesat di era digital saat ini, peralatan praktikum konvensional mampu di digitalisasi dengan bantuan perkembangan mikrokontroler (Putra, 2018).

Alat praktikum yang telah dikembangkan merupakan alat praktikum interferensi cahaya dengan sistem digital berbasis modul kamera dan aplikasi *tracker* serta menggunakan bahan yang mudah diperoleh di lingkungan sekitar. Modul kamera digunakan untuk mengambil gambar citra interferensi, sedangkan aplikasi *tracker* digunakan sebagai alat untuk menganalisis citra pola interferensi. Alat praktikum ini dimaksudkan untuk melatih keterampilan proses sains.

Alat praktikum ini merupakan pengembangan dari alat sebelumnya. Alat praktikum interferensi cahaya sebelumnya dalam menampilkan pola interferensi masih secara manual belum menampilkan pola interferensi secara visual yang ditampilkan langsung di layar laptop berbentuk grafik. Alat praktikum yang serupa sudah pernah dikembangkan oleh Wijaya *et al* (2022), tetapi alat praktikum tersebut untuk menganalisis pola difraksi dan menggunakan slit difraksi sebagai kisi. Dalam penelitian Wijaya juga menggunakan modul kamera ESP-32 tetapi menggunakan arduino UNO sebagai penyuplai daya terhadap modul kamera. Alat praktikum yang dikembangkan peneliti menggunakan kisi dari beberapa LCD *handphone* berbeda jenis dan tidak menggunakan arduino sebagai penyuplai daya terhadap modul kamera melainkan menggunakan downloader khusus ESP-32 yaitu *development board* CH340 yang lebih praktis dan mudah digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Ong *et al* (2015), keterampilan proses sains yang rendah dapat disebabkan oleh cara pembelajaran yang hanya berpaku pada buku ajar, hafalan yang membosankan, pembelajaran pasif, dan lain sebagainya. Kemudian menurut Ongowo & Indoshi (2013), keterampilan proses sains terintegrasi membutuhkan serangkaian pembelajaran yang konsisten dan beberapa praktek langsung. Dengan demikian, alat praktikum dinilai efektif dan sangat cocok digunakan guru dalam menjelaskan materi yang abstrak dan dapat melatih keterampilan proses sains peserta didik (Wijaya *et al.*, 2022).

Berdasarkan uraian di atas, pengembangan alat praktikum interferensi cahaya dapat menunjang pembelajaran fisika untuk meningkatkan keterampilan proses sains peserta didik. Ketidakersediaan alat praktikum dalam menjelaskan materi interferensi cahaya menjadi dasar peneliti dalam melakukan penelitian “Pengembangan Alat Praktikum Interferensi Cahaya Berbantuan Sensor Kamera ESP-32 untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian pengembangan ini adalah:

1. Bagaimana alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 yang valid untuk melatih keterampilan proses sains?
2. Bagaimana kepraktisan alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 untuk melatih keterampilan proses sains?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian pengembangan ini adalah:

1. Menghasilkan alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 yang valid untuk melatih keterampilan proses sains.
2. Mengetahui kepraktisan alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 untuk melatih keterampilan proses sains.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian pengembangan ini adalah:

1. Menghasilkan alat praktikum interferensi cahaya sebagai media pembelajaran untuk melatih keterampilan proses sains.
2. Memberikan solusi dalam mencapai tujuan pembelajaran interferensi cahaya.
3. Memberikan solusi dalam melakukan percobaan interferensi cahaya secara langsung, serta proses analisis data yang dilakukan secara digital.
4. Memberikan pengetahuan dalam memanfaatkan bahan-bahan sederhana serta perangkat lunak elektronik yang dapat dijadikan sebagai media pembelajaran.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian pengembangan ini adalah:

1. Alat praktikum yang dikembangkan ditujukan untuk melatih keterampilan proses sains pada enam indikator yaitu *observing*, *communicating*, *controlling variables*, *hypothesizing*, *experimentation*, dan *data interpreting*.
2. Penelitian pengembangan ini menggunakan pendekatan *Design and Development Research (DDR)* yang diadaptasi dari Richey and Klien (2007), terdiri atas tiga tahapan yaitu studi analisis, desain dan pengembangan, dan evaluasi.
3. Kevalidan alat praktikum yang dimaksud pada penelitian pengembangan ini mengacu pada beberapa aspek penilaian yaitu materi, kebermanfaatan pada keterampilan proses sains, ilustrasi, serta kualitas dan tampilan alat praktikum.
4. Kepraktisan alat praktikum yang dimaksud pada penelitian pengembangan ini mengacu pada beberapa aspek penilaian yang diadaptasi dari Festiana *et al.*, (2019) yaitu *usefulness*, *ease to use*, *ease of learning*, dan *satisfaction*.
5. Alat praktikum yang dikembangkan terdiri dari laser sebagai sumber sinar, kisi dari lcd *hp* yang berbeda, rel presisi, layar, modul kamera ESP-32, dan laptop untuk aplikasi *tracker*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerangka Teori

2.1.1 Alat Praktikum Interferensi Cahaya

Pembelajaran fisika seringkali membutuhkan media tambahan untuk menjelaskan materi melalui kegiatan eksperimen, salah satunya alat praktikum (Herlina *et al.*, 2022). Pembelajaran menggunakan alat praktikum berarti mengoptimalkan fungsi seluruh panca indera peserta didik untuk meningkatkan efektivitas peserta didik belajar dengan cara mendengar, melihat, meraba, dan menggunakan pikirannya secara logis dan realistis. Rangkaian alat praktikum bertujuan agar proses pendidikan lebih efektif dengan jalan meningkatkan semangat belajar peserta didik dan memungkinkan lebih sesuai dengan perorangan, sehingga siswa belajar dengan banyak kemungkinan, maka dari itu belajar akan sangat menyenangkan bagi masing-masing individu (Camalia dkk., 2016).

Rangkaian alat praktikum disusun berdasarkan prinsip bahwa pengetahuan yang ada pada setiap manusia itu diterima atau ditangkap melalui panca indera, semakin banyak indera yang digunakan untuk menerima sesuatu, maka semakin banyak dan semakin jelas pula pengertian atau pengetahuan yang diperoleh (Pramesty & Prabowo, 2013). Rangkaian alat praktikum ini dimaksudkan untuk menggerakkan indera sebanyak mungkin kepada suatu objek sehingga mempermudah persepsi.

Berdasarkan pernyataan di atas maka dapat disimpulkan bahwa rangkaian alat praktikum merupakan peranta pesan pembelajaran yang bertujuan untuk meningkatkan efektivitas peserta didik belajar melalui melihat, mendengar, meraba, dan menggunakan pikirannya secara logis dan realistis.

Alat praktikum yang dikembangkan peneliti yaitu alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 yang dimaksudkan untuk melatih keterampilan proses sains peserta didik. Untuk mempermudah dalam perangkaian dan penggunaan alat praktikum, peneliti membuat buku panduan yang berisi video perangkaian alat dan bagaimana penggunaannya.

2.2.2 Keterampilan Proses Sains (*Science Process Skills*)

Pada pembelajaran yang mengutamakan praktik pemahaman konseptual, keterampilan proses sains tidak akan dapat dipisahkan, karena keterampilan proses sains memiliki peran sentral dalam pembelajaran dengan pemahaman (Harlen, 1999). Keterampilan proses sains adalah keterampilan dasar yang memfasilitasi pembelajaran dalam ilmu sains, memungkinkan peserta didik untuk aktif, melatih rasa tanggung jawab, mengembangkan pembelajaran dan metode penelitian (Gürses *et al.*, 2015).

Keterampilan proses sains menurut Gagne (1965) dibagi menjadi dua, yaitu keterampilan proses sains dasar dan terintegrasi. Keterampilan proses sains dasar meliputi kegiatan mengamati, mengklasifikasi, dan menggunakan angka. Keterampilan proses sains terintegrasi misalnya mengendalikan variabel, dan merumuskan hipotesis. Penggunaan keterampilan proses sains terpadu yang baik dan efektif menurutnya ditentukan dengan penguasaan keterampilan proses sains dasar sebelumnya.

Keterampilan proses sains dasar memberikan landasan intelektual dalam sains seperti memberikan gambaran tentang benda yang sedang diamati (Beaumont-Walters *and* Soyibo, 2001). Contoh keterampilan proses sains dasar ini yaitu mengamati, mengklasifikasi, mengukur, dan memprediksi. Keterampilan proses sains terintegrasi dapat dikatakan sebagai keterampilan dalam melakukan eksperimen atau memecahkan masalah. Contoh keterampilan proses sains terintegrasi yaitu mengidentifikasi, menentukan variabel, mengubah data, membuat tabel dan grafik, menentukan hubungan antar variabel, menafsirkan data, memanipulasi bahan, merumuskan hipotesis, merancang penyelidikan, serta menarik kesimpulan.

Pembelajaran sains dengan mengedepankan pendekatan berbasis aktivitas berbeda dengan pendekatan didaktik. Pembelajaran seperti ini terbukti secara signifikan dapat meningkatkan pencapaian keterampilan proses sains peserta didik (Reynolds, 1991). Keterampilan proses sains memiliki hubungan yang erat dengan perkembangan kognitif, dimana terdapat perkembangan kognitif melalui pembelajaran keterampilan proses sains (Brotherton & Preece, 1995).

Keterampilan proses sains sangat penting karena memungkinkan peserta didik mengembangkan pemahaman mereka, dan kemampuan dalam memanfaatkan maupun mengidentifikasi bukti sains untuk memecahkan masalah dan mengambil keputusan. Hal ini dikarenakan keterampilan proses sains juga mengacu pada aktivitas kognitif (Ambross *et al.*, 2014). Kesulitan dalam menilai keterampilan proses sains ada pada cakupannya yang luas. Hal tersebut disebabkan karena kinerja pembelajaran yang melibatkan keterampilan didalamnya akan dipengaruhi oleh sifat mata pelajaran itu sendiri dan kemampuan peserta didik dalam menerapkan

keterampilan proses sains, sehingga sangat dibutuhkan peran seorang guru dalam melatih keterampilan proses sains kepada peserta didik (Harlen, 1999).

Keterampilan proses sains tentunya berkaitan dengan kemampuan konsep pada peserta didik, sedangkan kemampuan konsep peserta didik dipengaruhi oleh adanya kemampuan prosedural. De Jong *and* Ferguson-Hessler (1996) mendefinisikan bahwa pengetahuan prosedural merupakan kemampuan atau tindakan dalam memanipulasi pada proses pembelajaran. Pengetahuan prosedural meliputi kemampuan mengetahui bagaimana mengidentifikasi masalah, membatasi, memilih, dan menyelesaikan masalah, sehingga membantu peserta didik membuat suatu transisi antara satu keadaan ke keadaan lainnya.

Pengetahuan prosedural menurut Al-Mutawah *et al.*, (2019) meliputi kemampuan dalam membaca dan menghasilkan grafik dan tabel, melaksanakan konstruksi. Pengetahuan prosedural dapat dilihat melalui kemampuan peserta didik untuk menghubungkan proses penyelesaian masalah dengan masalah yang diberikan guru, serta bagaimana mereka menggunakan proses penyelesaian masalah itu dengan benar. Pengetahuan prosedural mengacu pada kemampuan peserta didik dalam menentukan kapan dan bagaimana menerapkan suatu prosedur pembelajaran, serta keterampilan melakukan aktivitas secara efisien, fleksibel dan akurat. Rittle-Johnson *and* Alibali (1999) menyatakan bahwa pengetahuan prosedural dapat mempengaruhi pemahaman konsep dari peserta didik, karena dapat membantu peserta didik dalam mengidentifikasi dan meminimalisir kesalahpahaman mereka.

Standar keterampilan proses sains yang digunakan pada penelitian ini mengadopsi pada penelitian yang lebih baru dari penelitian-penelitian sebelumnya, namun tetap mengedepankan korelasi antara penelitian maupun pendapat para ahli yang lebih dulu ada. Beberapa standar dalam keterampilan proses sains adalah mengamati, mengukur, bereksperimen, dan memproses data (Hodosyová *et al.*, 2015). Hal tersebut juga dipertegas dengan pendapat yang menyatakan bahwa, terdapat 6 (enam) indikator keterampilan proses sains diantaranya adalah mengidentifikasi variabel, berhipotesis, merencanakan eksperimen, memprediksi, mengkomunikasikan, dan menginterpretasikan data (Jalil *et al.*, 2018). Lebih detail Antrakusuma *et al.*, (2017) menjelaskan bahwa terdapat 10 (sepuluh) indikator keterampilan proses sains yaitu mengamati, mengklasifikasi, memprediksi, mengajukan pertanyaan, berhipotesis, merencanakan eksperimen, memanipulasi bahan, dan peralatan, menemukan kesimpulan, menerapkan, dan mengkomunikasikan.

Indikator keterampilan proses sains menurut Chiappetta *and* Koballa (2002) sendiri diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *basic science process skills* (keterampilan proses sains dasar) dan *integrated science process skills* (keterampilan proses sains terpadu). Keterampilan proses sains dasar (*basic*) dianggap sebagai prasyarat atau dasar dalam mempelajari keterampilan proses sains terpadu (*integrated*). Indikator keterampilan proses sains dasar terdiri dari *observing, measuring, inferring, classifying, predicting, communicating*, sedangkan untuk indikator keterampilan proses sains terpadu terdiri dari *controlling variables, hypothesizing, experimentation, dan data interpreting*.

Tabel 1. Indikator Keterampilan Proses Sains

Indikator KPS	Metode
1. <i>Observing</i>	Menggunakan indera yang dimiliki untuk menggambarkan atau mencatat sifat-sifat dan situasi suatu objek yang diamati secara optimal
2. <i>Measuring</i>	Menyatakan jumlah suatu benda atau zat dalam istilah kuantitatif
3. <i>Inferring</i>	Memberikan kesimpulan berupa penjelasan terhadap suatu objek berupa benda atau zat secara kuantitatif
4. <i>Classifying</i>	Menghubungkan suatu objek dengan peristiwa berdasarkan sifat, kondisi, atau atribut tertentu pada objek tersebut
5. <i>Predicting</i>	Memberikan perkiraan yang masuk akal untuk menjelaskan suatu peristiwa atau pengamatan berdasarkan pengamatan yang lalu atau dari perluasan data
6. <i>Communicating</i>	Menggunakan kata-kata, simbol, atau grafik dalam menggambarkan suatu objek atau peristiwa yang sedang diamati
7. <i>Controlling Variables</i>	Memanipulasi, menentukan, mempersiapkan, dan mengendalikan alat dan bahan yang berhubungan dengan objek yang diamati untuk menentukan hubungan sebab akibat
8. <i>Hypothesizing</i>	Menyatakan gagasan atau simpulan tentatif yang dapat digunakan untuk menjelaskan peristiwa atau objek yang diamati secara lebih luas, namun tetap tunduk pada hasil pengujian secara langsung
9. <i>Experimentation</i>	Menguji hipotesis melalui percobaan dengan memanipulasi atau mengontrol variabel, dan dilanjutkan dengan menyajikan hasil percobaan
10. <i>Data Interpreting</i>	Menafsirkan data hasil percobaan serta menarik kesimpulan dari data hasil percobaan yang telah dibuat grafik maupun tabelnya

Kazeni (2008) mengungkapkan bahwa dengan menguasai keterampilan proses sains, peserta didik dimungkinkan memperoleh keterampilan yang dibutuhkan untuk memecahkan masalah di kehidupan sehari-hari. Hal tersebut dipertegas oleh (Özgelen, 2012), keterampilan proses sains merupakan kemampuan dalam mengolah informasi, memecahkan masalah, serta membuat kesimpulan.

Keterampilan proses sains sangat dibutuhkan untuk mengetahui bagaimana memperoleh konsep-konsep ilmiah (Rauf *et al.*, 2013).

Dapat disimpulkan bahwa keterampilan proses sains dapat membantu peserta didik untuk mencapai kemampuan berpikir tingkat tinggi melalui pembelajaran yang aktif dengan mengolah informasi, memecahkan masalah, dan menarik kesimpulan. Keterlibatan peserta didik secara aktif dalam pembelajaran dengan menggunakan keterampilan proses sains akan membantu mereka dalam memahami konsep pada materi yang dipelajari. Indikator keterampilan proses sains pada penelitian ini diadaptasi dari Chiappetta *and* Koballa (2002) dengan memilih dari sepuluh indikator keterampilan proses sains menjadi enam indikator saja, yaitu *observing*, *communicating*, *controlling variables*, *hypothesizing*, *experimentation*, dan *data interpreting*. Pemilihan enam indikator tersebut dilakukan berdasarkan keumuman dan kecocokan indikator keterampilan proses sains dengan desain dan rancangan percobaan yang akan dilaksanakan.

Secara berurutan indikator-indikator keterampilan proses sains yang digunakan dapat dilatihkan melalui pembelajaran interferensi cahaya dengan menggunakan alat praktikum yang akan dikembangkan. Indikator *observing* pada penggunaan alat praktikum ini direncanakan ada di awal proses pembelajaran, karena seharusnya guru memberikan pengantar atau stimulus terlebih dahulu kepada peserta didik sebelum masuk ke topik inti. Indikator *controlling variables* ada pada saat peserta didik menentukan jenis kisi dan jarak yang akan mereka gunakan (pada pengembangan ini, alat praktikum yang akan dibuat memiliki jenis kisi yang berbeda-beda dan dapat digunakan pada jarak yang bervariasi). Indikator *hypothesizing* dapat diterapkan ketika peserta didik telah menentukan variabel-variabel yang akan mereka gunakan, peserta didik dapat menyampaikan

hipotesis mereka tentang bagaimana pengaruh variabel tersebut terhadap pola interferensi yang akan terbentuk. Indikator *experimentation* akan dibuktikan ketika peserta didik melakukan pengukuran melalui kegiatan percobaan menggunakan alat praktikum yang dikembangkan. Data-data yang diperoleh dari hasil percobaan yang kemudian dapat digunakan oleh peserta didik untuk mengkomunikasikan (*communicating*) hasil percobaan mereka dalam bentuk grafik maupun tabel hasil percobaan. Selain itu peserta didik juga dapat menarik kesimpulan berdasarkan hasil percobaan yang telah mereka lakukan (*data interpreting*).

2.1.3 *Hands-on Activity*

Hands-on activities didefinisikan sebagai mengalokasikan waktu minimum untuk pembelajaran tatap muka, dan mengalokasikan waktu maksimum untuk melakukan kegiatan pembelajaran secara langsung melalui eksperimen. Hal tersebut berbeda dengan pembelajaran secara konvensional dimana guru memiliki peran utama dalam menyampaikan konten pembelajaran. Selain itu kegiatan *hands-on activities* tidak serta merta memerlukan peralatan atau media khusus (Ates and Eryilmaz, 2011).

Menurut Senka (2013), *hands-on activity* adalah domain psikomotor dalam pembelajaran. Cakupan *hands-on activity* sangat luas mulai dari fisik, manual, seni, kegiatan, hingga sosial. *Hands-on activity* adalah aktivitas praktis kita di mana ketangkasan dan kekuatan fisik digabungkan dengan akal sehat dan kemauan dalam tindakan produktif (Brühlmeier, 2010b). Cakupan *hands-on activity* tidak hanya sebatas keterampilan fisik, tetapi juga untuk presisi, koordinasi, dan manipulasi (Jensen, 2005b). *Hands-on activity* dalam pembelajaran sains didefinisikan sebagai setiap kegiatan laboratorium sains yang memungkinkan peserta didik untuk

menangani atau melakukan, memanipulasi dan mengamati suatu proses ilmiah (Haury *and* Rillero, 1994).

Pembelajaran *hands-on activities* tidak hanya mengelola atau memodifikasi materi saja, namun melibatkan kedalaman penyelidikan menggunakan ide, objek, dan materi, serta kedalaman penggambaran terkait penyelidikan yang dilakukan (Sadi & Cakiroglu, 2011). Melalui *hands-on activities* guru memiliki kesempatan untuk memanfaatkan bahan-bahan sederhana yang mudah diperoleh untuk digunakan di dalam kelas demi menarik perhatian peserta didik, serta membuat pelajaran lebih menyenangkan. Holstermann *et al.*, (2010) mengungkapkan bahwa, terdapat korelasi antara *hands-on activities* dengan minat belajar, dimana minat belajar peserta didik akan meningkat ketika pembelajaran dilakukan dengan *hands-on activities*.

Berdasarkan penjelasan yang telah diberikan, dapat diketahui bahwa *hands-on activity* didefinisikan sebagai belajar dengan perbuatan, dalam hal ini perbuatan tersebut diantaranya adalah kegiatan eksperimen, dan *hands-on activity* termasuk dalam domain psikomotor. Jika dikaitkan dengan percobaan menggunakan alat praktikum interferensi cahaya yang dikembangkan, maka kegiatan *hands-on activity* ada pada saat peserta didik menggunakan alat praktikum interferensi cahaya ini untuk melakukan percobaan dalam kegiatan pembelajaran.

2.1.4 *Minds-on Activity*

Berbeda dengan *hands-on activity* pada pembelajaran yang merupakan belajar dengan melakukan kegiatan tangan (psikomotorik), *minds-on activity* pada proses pembelajaran lebih dikenal dengan kegiatan berpikir (kognitif). Menurut Gazibara

(2013), *mind on* atau *head on activity* adalah domain kognitif dalam pembelajaran. Menurut Brühlmeier (2010), kepala menyimpan semua fungsi psikologis dan intelektual yang memungkinkan kita untuk memahami dunia dan membentuk penilaian rasional tentang hal-hal tertentu. Lebih khusus lagi, proses-proses ini meliputi persepsi, memori, imajinasi, pemikiran, dan bahasa. Domain kognitif biasanya digambarkan sebagai “*what we know*” atau “apa yang diketahui” tetapi sebenarnya tidak hanya itu melainkan ditentukan pula oleh pengetahuan, pemahaman, penerapan, analisis, sintesis dan evaluasi (Jensen, 2009).

Minds-on activity dilakukan agar peserta didik dapat mengumpulkan dan mengolah informasi yang diperoleh selama kegiatan eksperimen, sehingga memperoleh suatu konsep yang baru. Aktivitas *minds-on* tersebut dapat berupa membaca, mendengarkan, menulis, bertanya, mengamati, serta menyampaikan pendapat (Aini dan Dwiningsih, 2014). Pembelajaran yang hanya mengandalkan *hands-on* saja dengan mengesampingkan *minds-on* masih belum cukup dalam meningkatkan kemampuan peserta didik (Ulum *et al.*, 2019).

Minds-on activity merupakan aspek yang melengkapi aktivitas *hands-on*. Keterkaitan keduanya dalam proses pembelajaran khususnya pada pembelajaran yang aktif akan membantu meningkatkan pemahaman peserta didik agar lebih baik. Hal tersebut dikarenakan peserta didik tidak hanya menggunakan pikiran dalam memahami materi (*minds-on*), namun juga menggunakan organ tubuh yang lain dalam menunjang pemahaman mereka melalui aktivitas secara langsung (*hands-on*). *Minds-on activity* juga dapat diterapkan dalam penggunaan alat praktikum yang dikembangkan. Namun, yang membedakan dengan *hands-on experiment* dan *activity* hanya terjadi ketika peserta didik melakukan aktivitas fisik seperti melakukan eksperimen, sedangkan pada *minds-on activity* bukan

hanya ada pada aktivitas yang lebih mengedepankan aspek kognitif saja (seperti observasi), namun juga ada pada aktivitas lainnya. Hal ini sesuai dengan pendapat Diniarti *and* Dwiningsih (2015), bahwa selama terdapat kegiatan eksperimen dalam pembelajaran, maka peserta didik secara otomatis juga melakukan aktivitas psikis (*minds-on activity*).

2.1.5 Modul Kamera ESP-32

ESP-32 adalah serangkaian sistem modul kamera yang murah dan berdaya rendah yang terintegrasi dengan *mikrokontroler*, *Wi-Fi* (*wireless fidelity*) dan *Bluetooth dual-model* dalam satu *board*. Modul kamera ESP-32 dapat mengirimkan data menggunakan LAN (*Local Area Network*), sehingga dipilih sebagai kandidat yang berpotensi dalam kegiatan *Object Recognition*. Untuk dapat melakukan kegiatan deteksi objek diperlukan sebuah modul kamera yang akan mengambil gambar. Modul kamera ESP-32 akan di program untuk mengirimkan gambar secara terus menerus sebagai *web-server* LAN (Noerifanza, 2022).



Gambar 1. *Board ESP-32 Camera*

Modul ESP32-CAM ini tidak memiliki *port microUSB* pada *board*, sehingga tidak dapat hanya menghubungkannya ke laptop/komputer dan mulai memuat program. Tetapi perlu menambahkan modul tambahan berupa *downloader* khusus untuk ESP32-CAM (*development board* CH340). Selain itu, *board* ini juga memiliki

tombol *reset*. Fitur utama ESP32-CAM yaitu fitur kamera. Sensor kamera yang terletak di ESP32-CAM yaitu OV2640. OV2640 adalah *chip* kamera populer dan sensor kamera 2MP inci pertama yang didistribusikan di seluruh dunia sejak tahun 2003. *Chip* sensor kamera ini terintegrasi dengan mesin kompresi yang cocok untuk skala kecil dan besar seperti sistem yang disematkan, deteksi objek, mainan dan pengenalan wajah. Jika ingin meng-*upgrade* kamera pada ESP32-CAM, pilihan terbaik yaitu OV5640 dan OV7670 yang secara resmi didukung oleh ESP32-CAM.

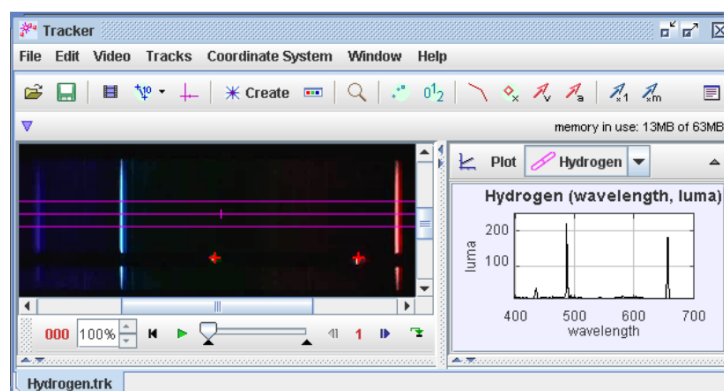
Adapun spesifikasi ESP32-CAM antara lain sebagai berikut.

- a) Memiliki 520 kb SRAM dan 4 MB os PSRAM.
- b) LED putih persegi yang terletak di bagian bawah modul berfungsi sebagai flash untuk menerangi subjek yang dilihat dengan kamera.
- c) Dapat dilihat bahwa ada konektor kamera 2 megapiksel yang terpasang. Konektor kamera dikenal sebagai konektor FPC.
- d) Di belakang modul kamera, terdapat slot kartu *microSD* yang digunakan untuk menyimpan gambar atau klip video yang diambil oleh modul kamera.
- e) ESP32-CAM ini biasanya digunakan untuk *project IoT (Internet of Things)* yang membutuhkan fitur kamera.

2.1.6 Aplikasi *Tracker*

Tracker merupakan alat analisis dan pemodelan video gratis yang dibangun dengan kerangka *Java Open Source Physics (OSP)* (Wee & Lee, 2011). Fitur yang dapat digunakan dalam *tracker* diantaranya adalah pelacakan objek, grafik kecepatan dan percepatan, *special effect filters*, *multiple reference frames*, titik kalibrasi, serta *line profiles* untuk menganalisis spektrum, pola difraksi, dan interferensi

(Trocaru *et al.*, 2020). Tampilan *tracker* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan dari Aplikasi *Tracker*

Penelitian Wee *and* Lee (2011) menemukan bahwa pemodelan video seperti yang dapat dilakukan dengan *tracker* cocok untuk pembelajaran aktif dan mendalam karena peserta didik dapat memprediksi dengan memasukkan nilai-nilai tertentu, mengamati, serta membandingkan data nyata dengan data yang dimunculkan pada *tracker*. Prinsip kerja *tracker* yaitu melalui metode analisis video kejadian fisika, terutama yang berhubungan dengan kecepatan, percepatan, gaya, medan gravitasi, konversi energi, serta optik. Melalui *software tracker* peserta didik mampu meningkatkan keterampilan proses yang dimiliki melalui observasi yang dilakukan, pengukuran dan dianalisis ke dalam *tracker*, proses perancangan percobaan dalam analisis video, penginterpretasian data, serta diakhiri dengan pengambilan kesimpulan (Habibulloh & Madlazim, 2014).

Menganalisis menggunakan *tracker* dalam pembelajaran mengenalkan metode kreatif yang baru dalam pembelajaran fisika. *Tracker* dapat membuat ilmu pengetahuan alam menjadi lebih menarik dan menyenangkan karena *software tracker* ini ilustratif, interaktif, menstimulus peserta didik untuk berpikir kreatif, serta menimbulkan rasa ingin tahu terhadap alam dan dunia sekitar

(Asrizal *et al.*, 2018). Suwarno (2017) menjelaskan bahwa terdapat beberapa persyaratan serta keuntungan dalam menggunakan aplikasi *tracker*. Persyaratan yang harus dilakukan dalam menggunakan aplikasi *tracker* yaitu:

- a) Agar memperoleh hasil yang akurat, maka dalam beberapa percobaan analisis perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu.
- b) Apabila melakukan *tracking* pada benda yang bergerak seperti berputar, maka perlu ditentukan terlebih dahulu titik pusatnya agar jari-jari benda tidak berubah.
- c) Posisi kamera sebaiknya diletakkan pada posisi yang tegak lurus, agar perekaman objek dapat tertangkap dengan baik.

Kelebihan *tracker* diantaranya adalah perangkat lunak tersedia *open source* dan mudah digunakan, akuisisi data dapat dilakukan dengan cepat, setelah melakukan tracking data yang diperoleh akan tersedia dengan berbagai data turunan seperti kecepatan, percepatan, sudut, dan lainnya, serta data tersedia dalam bentuk grafik dan numerik. Pemilihan aplikasi *tracker* pada penelitian ini didasari oleh penggunaannya yang dapat digunakan secara gratis, serta fitur yang tersedia pada aplikasi *tracker* tersebut. *Tracker* dapat digunakan untuk menganalisis kejadian fisika optik, contohnya interferensi cahaya. Pembelajaran fisika yang aktif dengan keterampilan proses sains juga dapat diperkuat dengan penggunaan aplikasi *tracker*. Peserta didik dapat memprediksi, mengamati, membandingkan, memilih data apa saja yang ingin diamati, serta yang terbaru adalah saat ini *tracker* sudah dapat diakses secara *online*.

2.1.7 LCD Handhphone sebagai Kisi Interferensi

Di dalam sistem penampil LCD terdapat banyak piksel yang tersusun seperti matriks, sehingga ketika LCD ditembak dengan cahaya maka piksel-piksel dalam LCD akan memantulkan cahaya tersebut. Cahay-

cahaya pantulan ini akan saling berinterferensi dan pola interferensi akan ditangkap oleh layar. Penelitian ini dilakukan dengan mengamati pola yang terbentuk pada layar dari beberapa jenis LCD *hp* yang berbeda. Penelitian ini menggunakan tiga jenis LCD *hp* yang berbeda kemudian dilihat karakteristik masing-masing LCD. Karakteristik masing-masing LCD tersaji dalam tabel 2 berikut.

Tabel 2. Karakteristik Tiap LCD

	Jenis LCD	Resolusi (piksel)	Kerapatan LCD (ppi)
1	Redmi 6a	720x1280	296
2	Oppo a5s	720x1520	271
3	Samsung J1 duos	480x800	235

Dari karakteristik masing-masing LCD *hp* yang digunakan sebagai kisi interferensi memberikan pengaruh terhadap pola interferensi yang terbentuk yaitu jenis celah/kisi yang digunakan menghasilkan pola interferensi yang berbeda sesuai dengan karakteristik jenis celah/kisi.

2.1.8 Interferensi Cahaya

Salah satu potensi sumber kesulitan peserta didik dalam memahami optik gelombang terletak pada fakta bahwa optik gelombang merupakan salah satu bidang fisika yang paling abstrak (Colombo *et al.*, 1995). Dalam salah satu penelitian, Ambrose *et al.*, (1999) mengidentifikasi tiga jenis kesulitan peserta didik dalam mempelajari optik gelombang: (1) kesalahan penerapan optik geometri dan optik gelombang (misalnya, peserta didik salah menerapkan konsep optik geometri untuk masalah optik gelombang), (2) kurangnya pemahaman kualitatif model gelombang (misalnya, peserta didik gagal memahami konsep kunci tentang gelombang (seperti panjang gelombang dan perbedaan fasa), dan (3) kesulitan dengan konsep

fisika modern (misalnya, peserta didik percaya foton bergerak sepanjang jalur sinusoidal).

Peserta didik mengungkapkan bahwa mereka kesulitan dalam memahami konsep fisika bagaimana menerapkan pengetahuan dalam situasi baru dan kehidupan nyata pada topik mekanika, optik, elektromagnetik, dan termodinamika (Camarao & Nava, 2017). Materi yang dianggap sulit untuk dipahami yaitu optik, terutama pada materi interferensi cahaya, peserta didik mengalami kegagalan untuk dapat menafsirkan pola sebagai akibat dari pola interferensi cahaya celah ganda atau celah banyak dan kecenderungan untuk dapat menentukan ide-ide dari optik untuk dapat memperhitungkan efek interferensi yang terjadi (Mc.dermot, 2000). Peserta didik diberikan sebuah soal dengan jawaban beralasan pada materi interferensi cahaya, maka peserta didik akan tergolong kepada tiga bagian. Peserta didik dengan golongan atas akan memberikan jawaban benar dengan alasan yang benar, golongan sedang akan memberikan jawaban yang benar dengan alasan hampir benar, dan golongan bawah akan memberikan jawaban yang benar namun dengan alasan yang memungkinkan salah. Hal ini dikarenakan pemahaman konsep mereka mengenai materi tersebut kurang baik (Dai *et al.*, 2019).

Interferensi merupakan penggabungan superposisi dua gelombang atau lebih yang bertemu dalam satu titik atau satu ruang. Fenomena interferensi akan teramati jika sumbernya koheren, atau perbedaan fase antara gelombang konstan terhadap waktu, karena berkas cahaya pada umumnya merupakan hasil dari jutaan atom yang memancar secara bebas, dua sumber cahaya biasanya tidak koheren. Koheren dalam optika sering dicapai dengan membagi cahaya dari sumber tunggal menjadi dua berkas atau lebih, yang kemudian digabungkan untuk dapat menghasilkan pola interferensi. Perbedaan ini dicapai

dari memantulkan cahaya dari dua permukaan yang terpisah (Tipler, 2001)

Peristiwa interferensi cahaya terjadi karena sinar terefleksi atau terefraksi pada suatu batas dengan dua media yang berbeda indeks biasnya. Sinar datang terefleksi dan terefraksi komponennya dari pemisahan gelombang dan melalui perbedaan lintasan optik. Gelombang tersebut akan berinterferensi ketika bergabung (superposisi). Superposisi gelombang merupakan penjumlahan dua gelombang atau lebih yang dapat melintasi ruang sama tanpa ada ketergantungan antara gelombang satu dengan gelombang lainnya. Jika di suatu titik bertemu dua buah gelombang, maka resultan gelombang di tempat tersebut sama dengan jumlah dari kedua gelombang tersebut. Peristiwa ini disebut dengan superposisi linier.

Dua gelombang sinusoidal dengan amplitudo A yang sama tetapi frekuensinya sedikit berbeda ω_1 dan ω_2 yang keduanya merambat secara bersamaan dalam arah x positif. Kedua gelombang tersebut masing-masing mempunyai bilangan k_1 dan k_2 . Bilangan gelombang dapat dicari jika hubungan antara ω dan k diketahui. Jumlah kedua gelombang tersebut kemudian menjadi

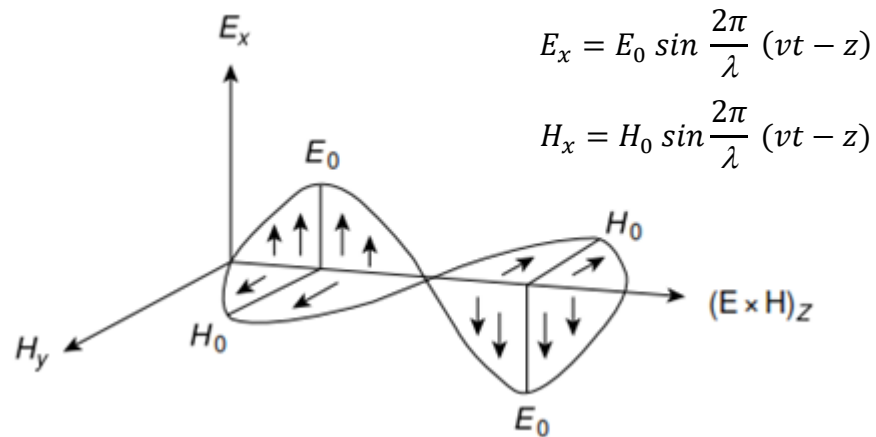
$$f(x, t) = A [\sin(k_1x - \omega_1t) + \sin(k_2x - \omega_2t)]$$

menggunakan identitas trigonometri

$$\begin{aligned} \sin \alpha + \sin \beta &= 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \\ f(x, t) &= 2A \sin \left[\frac{(k_1 + k_2)x - (\omega_1 + \omega_2)t}{2} \right] \\ &\quad \times \cos \left[\frac{(k_1 - k_2)x - (\omega_1 - \omega_2)t}{2} \right] \end{aligned}$$

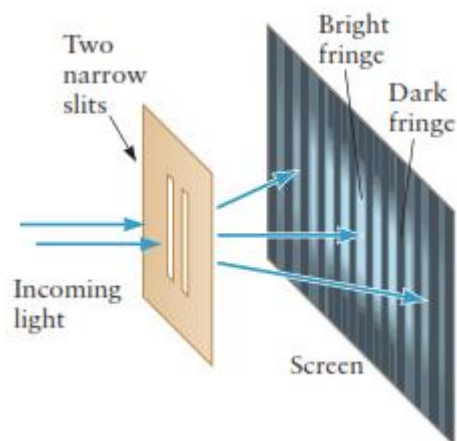
Jika ω_1 dan ω_2 sama persis, maka k_1 dan k_2 juga sama, dan kita punya

$$f(x, t) = 2A \sin(kx - \omega t)$$



Gambar 3. Penjalaran Gelombang Elektromagnetik

Penafsiran pola akibat dampak interferensi yang terjadi dapat dilihat melalui percobaan eksperimen celah ganda. Eksperimen celah ganda terkenal dalam sejarah fisika karena menunjukkan secara meyakinkan bahwa cahaya adalah gelombang. Eksperimen ini pertama kali dilakukan sekitar tahun 1800 oleh Thomas Young, ditunjukkan pada Gambar 4. Cahaya datang dari kiri ke dua celah dan setelah melewati celah tersebut mengenai layar di sebelah kanan. Cahaya datang di sini adalah gelombang bidang; persyaratan penting ini mudah dicapai saat ini dengan menggunakan cahaya dari laser.

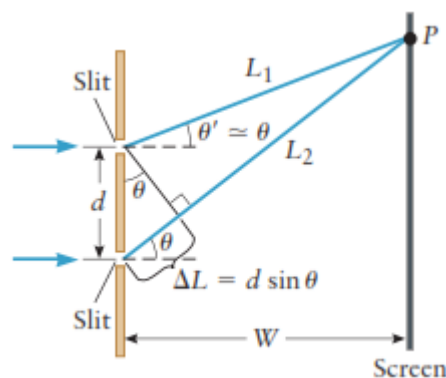


Gambar 4. Eksperimen Celah Ganda Young

Pertama, gelombang interferensi merambat melalui wilayah ruang berbeda saat merambat melalui celah berbeda. Kedua, gelombang

berkumpul pada titik yang sama di layar tempat mereka berinterferensi. Ketiga, gelombang bersifat koheren karena berasal dari sumber yang sama, yaitu gelombang bidang yang datang di sebelah kiri. Oleh karena itu, diharapkan interferensi menentukan bagaimana intensitas cahaya pada layar bervariasi menurut posisi. Untuk mempermudah, diasumsikan kedua celah tersebut sangat sempit, sehingga menurut prinsip Huygens, setiap celah bertindak sebagai sumber sederhana dengan muka gelombang melingkar jika dilihat dari atas. Intensitas cahaya pada layar bergantung antara terang dan gelap saat kita bergerak di sepanjang layar, menandakan wilayah interferensi konstruktif dan interferensi destruktif.

Untuk menganalisis pola interferensi pada Gambar 4, kita harus menentukan panjang jalur antara setiap celah dan layar. Perhatikan panjang lintasan gelombang yang sampai di titik P pada layar pada Gambar 5. Untuk mempermudah, kita asumsikan jarak layar sangat jauh dari celah, jadi W sangat besar. Jarak celah bawah ke P lebih besar dibandingkan jarak P ke celah atas. Selain itu, karena W besar, sudut θ dan θ' yang menentukan arah dari celah ke titik P kira-kira sama besar, dan kita menyatakan keduanya dengan θ .



Gambar 5. Analisis Interferensi Celah Ganda

Jika celah tersebut dipisahkan oleh jarak d , maka panjang lintasan tambahan yang ditempuh gelombang dari celah bawah adalah ΔL , yang diberikan oleh

$$\Delta L = d \sin \theta$$

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Jika panjang jalur ekstra ini sama dengan bilangan integral panjang gelombang lengkap, kedua gelombang akan sefasa ketika menumbuk layar; interferensi kemudian bersifat konstruktif dan intensitas cahayanya besar. Sebaliknya, jika panjang lintasan tambahan sama dengan $\lambda/2$, $3\lambda/2$, $5\lambda/2$, . . . , interferensinya bersifat destruktif dan intensitas pada layar nol. Kondisi interferensi konstruktif dan pinggiran terang dalam pola interferensi adalah sebagai berikut

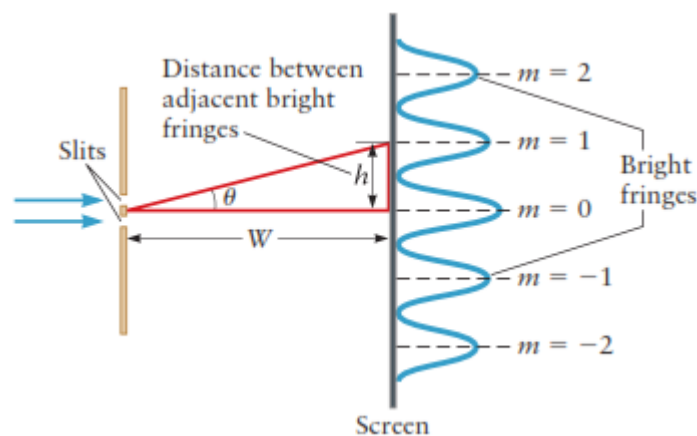
$$d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

(interferensi konstruktif)

sedangkan kondisi interferensi destruktif dan pinggiran gelap adalah

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

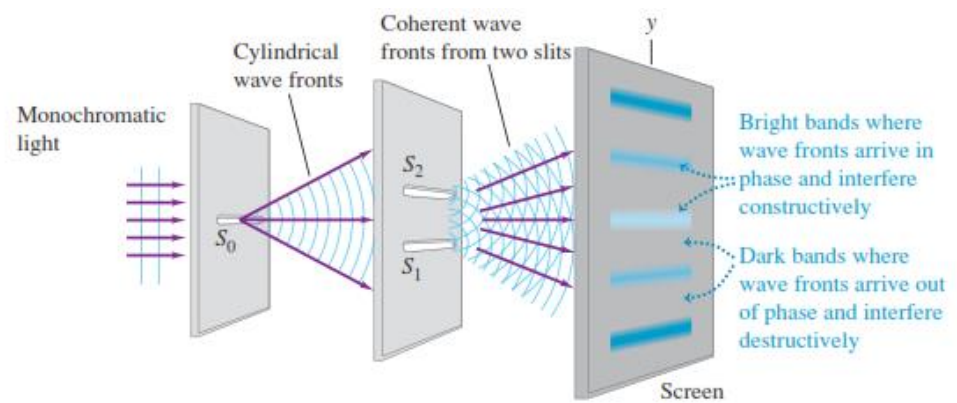
(interferensi destruktif)



Gambar 6. Double-slit Interferensi

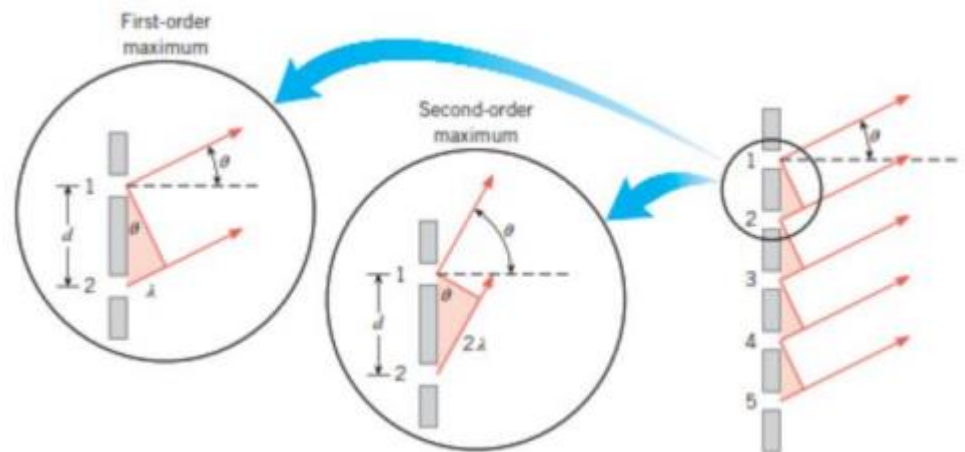
Pola intensitas celah ganda pada layar diperlihatkan sangat diperbesar pada Gambar 6. Sudut θ bervariasi saat kita bergerak di sepanjang layar. Pada nilai θ tertentu, kondisi interferensi konstruktif terpenuhi, menghasilkan intensitas maksimum (pinggiran interferensi terang). Setiap pinggiran terang memenuhi Persamaan interferensi

konstruktif dengan nilai bilangan bulat m yang berbeda. Nilai $m = 0$ menghasilkan $\theta = 0$ dan sesuai dengan bagian tengah layar. Bergerak ke atas atau ke bawah dari titik ini memberikan pinggiran terang dengan $m = +1, +2, +3, \dots$ dan $m = -1, -2, -3, \dots$. Nilai m yang negatif menunjukkan bahwa jalur menuju titik-titik pada layar dari celah bawah lebih pendek dibandingkan jalur menuju titik-titik tersebut dari celah atas.



Gambar 7. Interferensi Gelombang Cahaya yang Melewati Dua Celah

Interferensi dua celah menunjukkan bahwa cahaya yang melewati dua celah sempit dapat berinterferensi. Pola interferensi pada layar jauh menunjukkan interferensi konstruktif atau destruktif berdasarkan pada sudut keluarnya (Giordano, 2010). Jika terdapat tiga sumber atau lebih yang berjarak sama dan sefase satu sama lain, pola intensitas pada layar yang jauh akan serupa dengan pola yang diberikan oleh dua sumber, tetapi kedudukan maksima intensitas di layar yang jauh akan serupa dengan pola yang diberikan dua sumber (Sugito *et al.* 2005).



Gambar 8. Kondisi Intensitas Maksimum Orde Pertama dan Kedua

Principal fringes terbentuk oleh interferensi konstruktif, apabila mengasumsikan layar jauh dari kisi maka sinar-sinarinya tetap sejajar ketika cahaya merambat menuju ke layar. Apabila layar mencapai pada tempat orde pertama maksimum berada maka cahaya dari dua celah yang menempuh jarak satu panjang gelombang lebih jauh dari celah tunggal. Cahaya dari tiga celah merambat satu panjang gelombang lebih jauh dibandingkan pada celah satu dan dua menunjukkan bahwa interferensi konstruktif terjadi jika,

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{d}$$

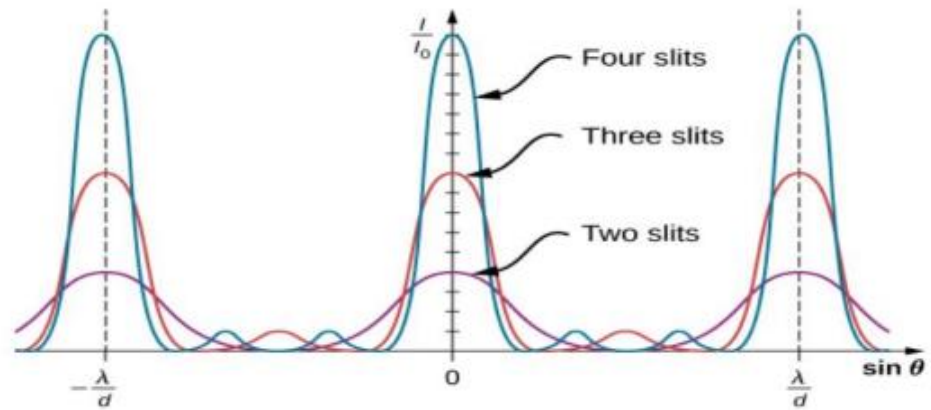
dimana d adalah jarak antar celah. Maksimum orde kedua terbentuk ketika jarak ekstra yang ditempuh cahaya dari celah yang berdekatan adalah dua panjang gelombang, sehingga

$$\sin \theta = \frac{2\lambda}{d}$$

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}$$

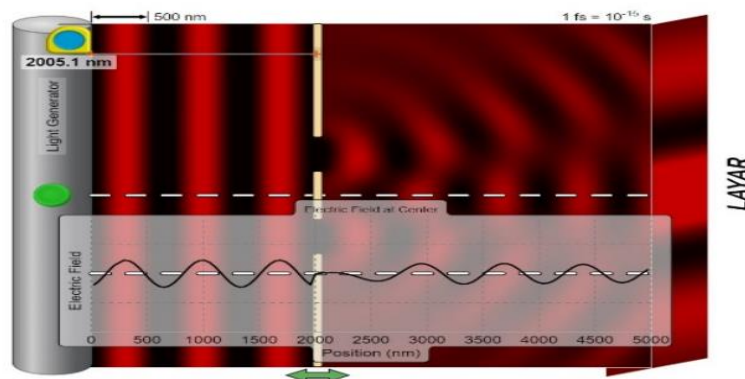
Ketika jumlah celah bertambah maka pola terang yang muncul akan semakin banyak. Ketika N bertambah besar dan jumlah pola terang dan gelap bertambah maka lebar pola terang menjadi lebih sempit karena letak pinggiran pola gelap yang berdekatan. Semakin banyak celah, maka nilai pola interferensi antara pola terang dan pola gelap

akan sangat kecil. Pola interferensi banyak celah tersaji pada Gambar 9.

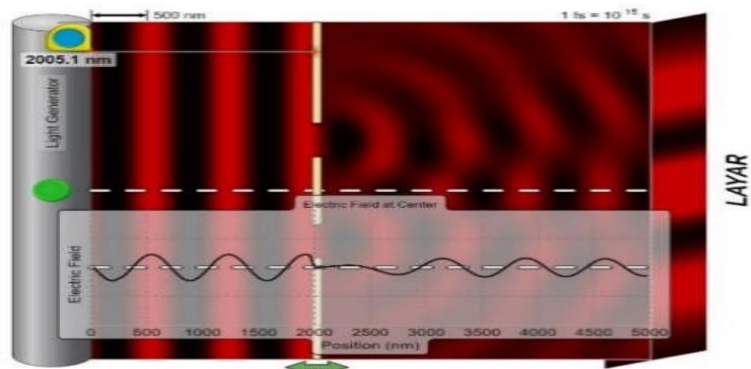


Gambar 9. Grafik Pola Interferensi Celah Banyak

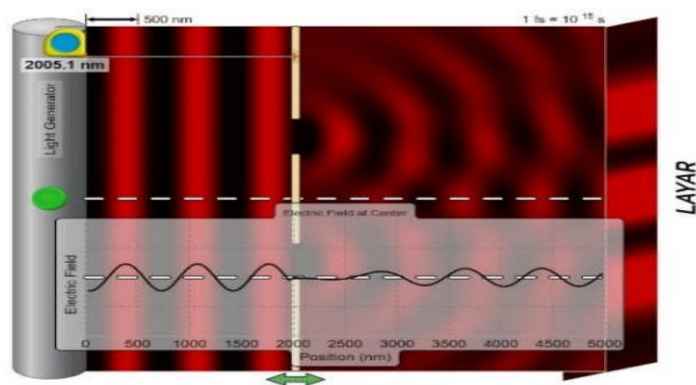
Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai analisis hasil percobaan interferensi cahaya, salah satunya yaitu percobaan yang dilakukan oleh Agustina dkk. (2022). Percobaan tersebut bertujuan untuk menentukan apakah ada pengaruh terhadap jarak antar celah dengan jarak antar pola terang pada layar dalam materi praktikum interferensi. Metode yang digunakan dengan membandingkan hubungan jarak antar celah dengan warna frekuensi maroon terhadap jarak 1200 nm; 1500 nm; 1800 nm. Hubungan antara jarak antar celah dengan jarak antar pola gelap terang yaitu berbanding terbalik. Semakin besar jarak antar celah, maka semakin kecil jarak antar pola gelap terang pada layar dan sebaliknya.



Gambar 10. Tampilan Jarak antar Pola Gelap Terang pada Layar dengan Jarak antar Celah (*Slit Separation*) 1200nm

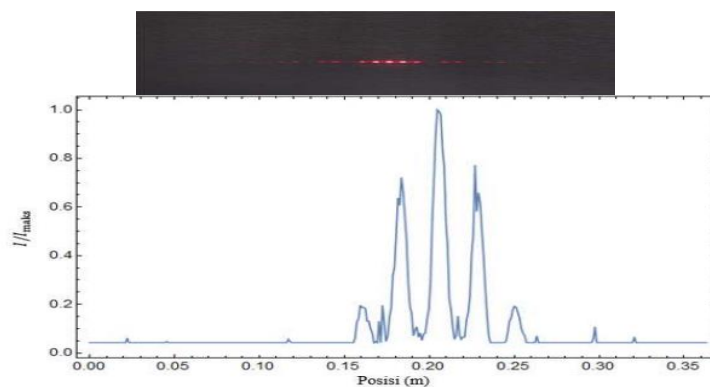


Gambar 11. Tampilan Jarak antar Pola Gelap Terang pada Layar dengan Jarak antar Celah (*Slit Separation*) 1500nm



Gambar 12. Tampilan Jarak antar Pola Gelap Terang pada Layar dengan Jarak antar Celah (*Slit Separation*) 1800nm

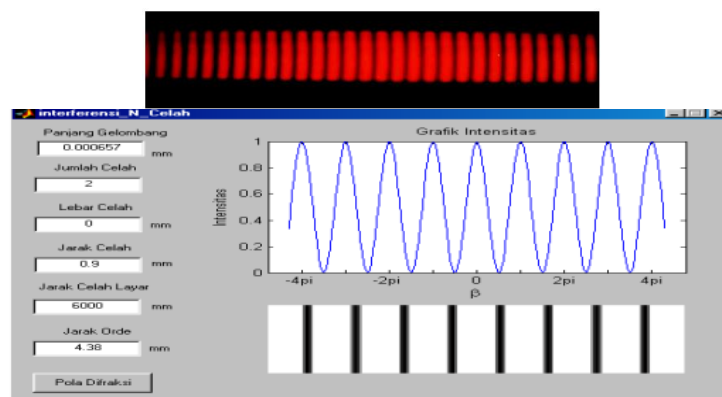
Penelitian lain juga dilakukan oleh Panuluh dkk (2020), eksperimen interferensi tiga celah yang dilakukan menghasilkan pola interferensi yang ditunjukkan oleh gambar berikut.



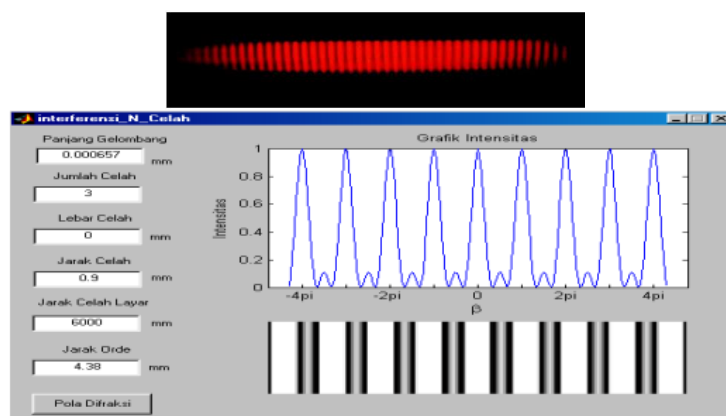
Gambar 13. Hasil Eksperimen Pola Interferensi Tiga Celah

Dari hasil eksperimen tersebut diperoleh bahwa tangkapan kamera terlihat diantara dua intensitas maksimum primer terdapat satu intensitas maksimum sekunder dengan intensitas yang lebih rendah. Hasil penelitian yang diperlihatkan pada Gambar yaitu adanya satu puncak sekunder (*secondary maximum*).

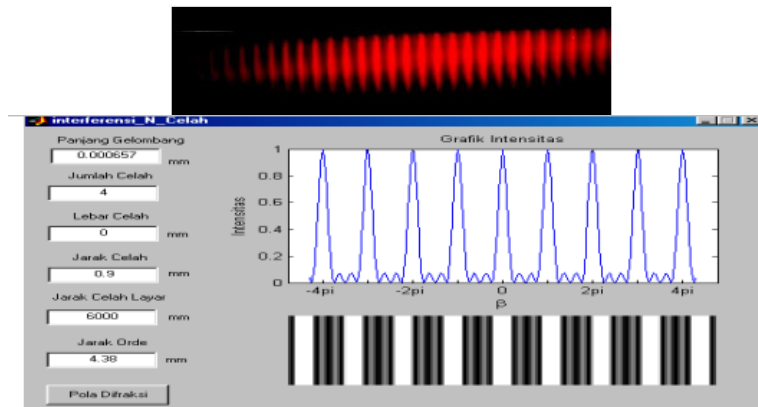
Selain itu, pada penelitian Sugito dkk (2005) mengenai pengukuran panjang gelombang sumber cahaya berdasarkan pola interferensi celah banyak diperoleh bahwa bentuk frinji pada interferensi yang dihasilkan berbeda-beda. Pada interferensi dengan 2 celah, didapat frinji yang lebih rapat. Sedangkan pada interferensi dengan 8 celah didapat frinji yang agak renggang antara terang pertama ke terang yang ke-n. Pola-pola intensitas interferensi dengan 2 celah, 3 celah, 4 celah dan 8 celah dapat dilihat pada Gambar berikut.



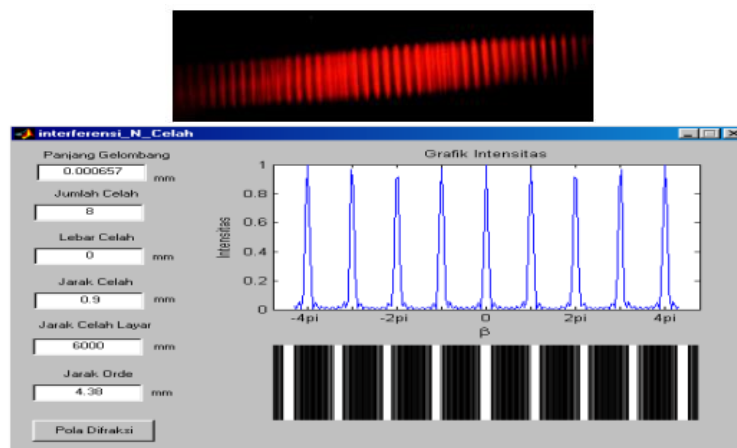
Gambar 14. Hasil dari Pola Interferensi dengan 2 Celah



Gambar 15. Hasil dari Pola Interferensi dengan 3 Celah



Gambar 16. Hasil dari Pola Interferensi dengan 4 Celah



Gambar 17. Hasil dari Pola Interferensi dengan 8 Celah

2.1.10 Keterkaitan Aktivitas Praktikum dengan Keterampilan Proses Sains

Pembelajaran fisika mengarahkan peserta didik untuk berlatih keterampilan dalam menemukan masalah, mengidentifikasi penyebab masalah, merancang solusi dan menguji solusi dalam menemukan jawaban masalah (Collete & Chiapetta, 1998). Keterampilan proses sains menjadi alat yang diperlukan untuk mempelajari dan memahami konsep fisika, tidak hanya ilmuwan saja melainkan individu juga harus memiliki keterampilan proses sains agar memecahkan permasalahan yang dihadapi dalam kehidupan sehari-hari (Sudarmani *et al.*, 2018). Menurut Kurniawan *et al.*,

(2020), jika peserta didik memiliki keterampilan proses sains yang rendah, maka kegiatan belajar mengajar di sekolah dapat menerapkan keterlibatan peserta didik secara maksimal dan membiasakan peserta didik dalam menggunakan keterampilan berpikirnya, sehingga perlu diadakan kegiatan praktikum agar peserta didik mampu memahami konsep dengan baik dan dapat meningkatkan keterampilan proses sains. Kegiatan praktikum berkaitan dengan pengetahuan prosedural dan pengetahuan konseptual. Pengetahuan prosedural berkaitan dengan keterampilan proses sains yang menunjang peserta didik lebih baik dalam kegiatan laboratorium (Anderson & Krathwohl, 2001).

Melalui keterampilan proses sains, siswa diharapkan mampu melakukan langkah-langkah metode ilmiah untuk memperoleh pengetahuan baru atau mengembangkan pengetahuan yang telah dimilikinya. Pada aktivitas praktikum menggunakan alat praktikum interferensi cahaya, peserta didik secara tidak langsung melaksanakan indikator indikator keterampilan proses sains. Pada saat sebelum melakukan kegiatan praktikum, umumnya guru akan memberikan stimulus kepada peserta didik untuk menemukan masalah dengan memberikan fenomena terkait materi yang dibahas, pada tahap inilah peserta didik akan melakukan kegiatan *observing*. Indikator *controlling variables* ditandai dengan peserta didik akan memilih jenis kisi yang digunakan pada percobaan serta menentukan berapa jarak pisah antara kisi ke layar tangkap. Peserta didik dapat memberikan hipotesis mereka mengenai bagaimana pengaruh jarak kisi ke layar maupun pengaruh jenis kisi terhadap pola interferensi, pada tahap ini indikator *hypothesizing* dapat dilatihkan. Untuk menguji hipotesis, peserta didik melakukan kegiatan eksperimen/percobaan menggunakan alat praktikum (*experimentation*). Data hasil percobaan kemudian oleh peserta didik disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, hal ini melatih indikator

communicating. Data interpreting peserta didik dilatihkan dengan peserta didik menafsirkan hasil data percobaan dan menarik kesimpulan.

2.2 Penelitian Relevan

Tabel 3 menunjukkan beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian pengembangan yang telah dilakukan.

Tabel 3. Penelitian yang Relevan

Nama Peneliti>Nama Jurnal/Judul	Metode	Hasil Penelitian/Analisis
Kholifudin (2017)/Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika/Sinar Laser Mainan sebagai Alternatif Sumber Cahaya Monokromatik Praktikum Kisi Difraksi Cahaya	Penelitian berbasis pembelajaran fisika di laboratorium yaitu menentukan besar panjang gelombang cahaya monokromatik melalui percobaan kisi difraksi cahaya dengan sumber cahaya sinar laser mainan yang diarahkan pada kisi	Cahaya monokromatik sebagai sumber cahaya kisi difraksi diperoleh interferensi cahaya pada layar juga cahaya monokromatik dan aktivitas belajar siswa meningkat dengan indikator siswa terlibat aktif dalam proses pembelajaran dari proses merangkai alat, mengamati, mencatat, mengolah data, menyimpulkan dan membuat laporan praktikum. Bahwa sinar laser mainan dapat digunakan sebagai alternatif sumber cahaya monokromatik pada praktikum kisi difraksi cahaya yang murah dan mudah didapa
Guswontoro (2016)/Prosiding LINO/ Penentuan Kerapatan Piksel LCD dengan Menggunakan Prinsip Pantulan dan Interferensi	Penelitian ini dilakukan di laboratorium Fisika Dasar, Universitas Kristen Indonesia. Penelitian ini dimulai dengan Menembakkan sinar Laser dioda hijau ke LCD Xiaomi Redmi 2, kemudian hasil pantulannya diarahkan ke layar, di layar akan terbentuk pola-pola gelap-terang.	Sesuai dengan prinsip Huygens cahaya hasil pantulan dari tiap piksel dianggap sebagai sumber cahaya titik yang tersusun seperti matriks baris dan kolom. Sumber-sumber sekunder ini dapat dianalogikan seperti dua buah kisi yang disusun saling tegak lurus membentuk sebuah kasa. Pola gelap-terang hasil interferensi akan tersusun baik dalam sumbu mendatar dan sumbu tegak.

Nama Peneliti>Nama Jurnal/Judul	Metode	Hasil Penelitian/Analisis
Setiawan dkk. (2018)/Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran/ Pengembangan KIT Praktikum Difraksi dan Interferensi Cahaya untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Kemampuan Berpikir Kritis	Menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan, dengan prosedur pengembangan yang mengacu pada model Borg dan Gall (1989)	Penguasaan konsep siswa meningkat setelah menggunakan KIT praktikum dalam pembelajaran materi difraksi dan interferensi cahaya KIT praktikum difraksi dan interferensi cahaya dapat meningkatkan kemampuan berpikir siswa KIT praktikum difraksi dan interferensi cahaya efektif dan sangat layak digunakan dalam pembelajaran
Wijaya <i>et al.</i> , (2022)/Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika/Development of Simple Light Diffraction Props Assisted by Tracker Application with Camera Module and Arduino UNO	Menggunakan pendekatan Design and Development Research (DDR) yang diadaptasi dari Richey and Klien (2007).	Alat peraga difraksi cahaya sederhana ini dinyatakan valid, praktis dan efektif untuk digunakan.

Berdasarkan hasil beberapa penelitian yang telah dijabarkan pada Tabel 3, penelitian pertama dilakukan pada tahun 2017 yang membahas tentang sinar laser mainan sebagai alternatif sumber cahaya monokromatik praktikum kisi difraksi cahaya, memperoleh hasil penelitian bahwa cahaya monokromatik sebagai sumber cahaya kisi difraksi diperoleh interferensi cahaya pada layar juga cahaya monokromatik dan aktivitas belajar siswa meningkat dengan indikator siswa terlibat aktif dalam proses pembelajaran dari proses merangkai alat, mengamati, mencatat, mengolah data, menyimpulkan dan membuat laporan praktikum. Penelitian kedua dilakukan pada tahun 2016 membahas mengenai penentuan kerapatan piksel lcd dengan menggunakan prinsip pantulan dan interferensi. Penelitian ini memperoleh hasil pantulan dari tiap piksel dianggap sebagai sumber cahaya titik yang tersusun seperti matriks baris dan kolom. Sumber-sumber sekunder ini dapat dianalogikan seperti dua buah kisi yang disusun saling tegak lurus membentuk sebuah kasa. Pola gelap-

terang hasil interferensi akan tersusun baik dalam sumbu mendatar dan sumbu tegak, hal ini sesuai dengan prinsip Huygens.

Penelitian ketiga dilakukan pada tahun 2018 membahas mengenai penggunaan KIT praktikum difraksi dan interferensi cahaya untuk meningkatkan konsep dan kemampuan berpikir kritis. Penelitian ini memperoleh hasil bahwa penggunaan KIT praktikum difraksi dan interferensi cahaya mampu meningkatkan penguasaan konsep siswa, kemampuan berpikir kritis siswa, dan dinilai efektif dan sangat layak untuk digunakan dalam kegiatan pembelajaran. Adapun pada penelitian keempat yang dilakukan pada tahun 2022 membahas mengenai pengembangan alat peraga sederhana difraksi cahaya menggunakan *arduino uno* dengan berbantuan modul kamera dan aplikasi *tracker*, memperoleh hasil bahwa alat peraga difraksi cahaya sederhana ini dinyatakan valid, praktis dan efektif untuk digunakan.

Keterbaruan penelitian pengembangan yang dilakukan oleh peneliti dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya adalah penggunaan modul kamera dan aplikasi *tracker* sebagai media pembelajaran pada materi interferensi cahaya secara bersamaan. Modul kamera yang akan digunakan yaitu modul kamera ESP-32 untuk mengambil gambar citra interferensi, sedangkan aplikasi *tracker* akan digunakan sebagai alat untuk menganalisis citra pola interferensi. Selain itu, pada penelitian pengembangan ini akan menggunakan beberapa LCD yang berbeda jenis untuk dilihat perbedaan pola interferensi yang dihasilkan.

2.3 Kerangka Pemikiran

Pendidikan abad ke-21 merupakan pendidikan yang mengintegrasikan pengetahuan, keterampilan dan sikap, serta penguasaan teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Kompetensi yang harus dikuasai oleh peserta didik yaitu kompetensi 4C, yang diantaranya: *critical thinking*

and problem solving skill, communication skills, creativity and innovation, dan collaboration.

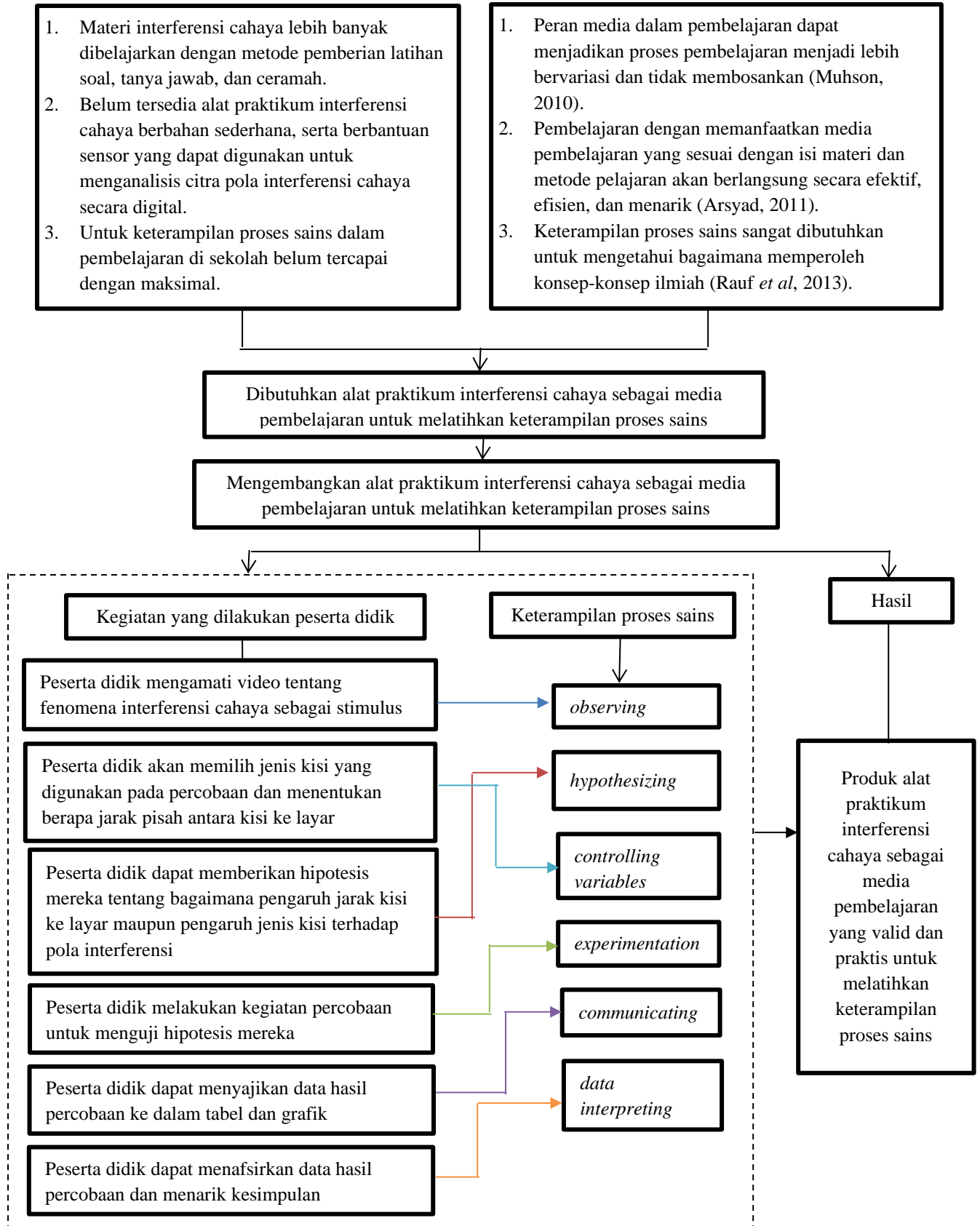
Penggunaan media pembelajaran yang kurang interaktif dan proses pembelajaran masih berpusat pada guru sehingga berdampak pada perkembangan pengetahuan dan keterampilan peserta didik. Untuk memenuhi tuntutan abad 21 agar mampu bersaing dan tumbuh dengan baik di masa depan, peserta didik harus menguasai keterampilan salah satunya yaitu keterampilan proses sains.

Penerapan media yang interaktif dalam proses pembelajaran dapat membantu menumbuhkan minat peserta didik dalam proses belajar di kelas. Media pembelajaran yang dikembangkan oleh guru harus sesuai dengan kebutuhan peserta didik. Perkembangan teknologi yang semakin maju dapat dimanfaatkan oleh guru sebagai penunjang dalam mengembangkan media pembelajaran. Salah satunya yaitu dengan menggunakan media pembelajaran yang memanfaatkan penggunaan bahan sederhana dan perkembangan teknologi yang interaktif. Media pembelajaran yang dapat digunakan guru yaitu salah satunya alat praktikum.

Alat praktikum sederhana berbantuan sensor dapat digunakan untuk membantu guru dalam menjelaskan materi optik, yaitu konsep interferensi cahaya. Alat praktikum ini bertujuan untuk memudahkan guru dalam merepresentasikan secara visual agar peserta didik lebih mudah mengamati dan memahami konsep interferensi cahaya. Alat praktikum yang dikembangkan dalam penelitian ini dilengkapi dengan bantuan sensor cahaya dan aplikasi *tracker* yang dilengkapi fitur simulasi grafik yang diharapkan mampu menjadi salah satu penunjang dalam pembelajaran konsep interferensi cahaya untuk melatih keterampilan proses sains peserta didik. Indikator keterampilan proses sains yang

peneliti gunakan yaitu *observing*, *hypothesizing*, *controlling variables*, *experimentation*, *communicating*, dan *data interpreting*.

Pada indikator *observing*, peserta didik mengamati video tentang interferensi cahaya sebagai stimulus. Indikator *controlling variables* ditandai dengan peserta didik akan memilih jenis kisi yang digunakan pada percobaan serta menentukan berapa jarak pisah antara kisi ke layar tangkap. Peserta didik dapat memberikan hipotesis mereka mengenai bagaimana pengaruh jarak kisi ke layar maupun pengaruh jenis kisi terhadap pola interferensi, pada tahap ini indikator *hypothesizing* dapat dilatihkan. Untuk menguji hipotesis, peserta didik melakukan kegiatan eksperimen/percobaan menggunakan alat praktikum (*experimentation*). Data hasil percobaan kemudian oleh peserta didik disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, hal ini melatih indikator *communicating*. *Data interpreting* peserta didik dilatihkan dengan peserta didik menafsirkan hasil data percobaan dan menarik kesimpulan. Berdasarkan uraian pemikiran, bagan kerangka pemikiran dapat dijelaskan pada Gambar 18.



Gambar 18. Kerangka Pemikiran

2.4 Model Hipotetik Rangkaian Alat Praktikum

Model hipotetik rangkaian alat praktikum merupakan kerangka awal hasil analisis kajian kerangka teori yang akan menjadi dasar dari pengembangan produk. Desain rangkaian alat praktikum yang dikembangkan oleh peneliti adalah rangkaian alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor menggunakan modul kamera ESP-32 dan dianalisis menggunakan aplikasi *tracker*.

1. Desain kerangka untuk alat praktikum interferensi cahaya berbentuk kotak persegi panjang terbuat dari papan dengan tebal sekitar ± 10 cm dan panjang 200 cm, yang dipaku antar sisinya hingga terbentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 21. Peneliti mendesain kotak dengan diberi pengait atau pengunci pada wadah dengan tujuan untuk mengunci wadah ketika akan dipindahkan supaya rangkaian alat tidak terjatuh.



Gambar 19. Kerangka Alat Praktikum Interferensi Cahaya

2. Kerangka alat praktikum interferensi cahaya ini didalamnya terdiri atas rel presisi yang terbuat dari rel gorden yang diberi skala yaitu 90 cm untuk tempat dudukan kisi dan laser, layar sebagai tangkap pola interferensi, dudukan yang terbuat dari paralon untuk kisi, laser, dan diafragma, modul kamera, kabel penghubung, dan laptop untuk aplikasi *tracker*.



Gambar 20. Rangkaian Alat Praktikum Interferensi Cahaya

III. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian Pengembangan

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada model *Design and Development Research* (DDR), jenis penelitian pengembangan produk yang diadaptasi dari Richey and Klien (2007). Model penelitian DDR pertama kali diperkenalkan oleh Brown & Collins pada tahun 1992 dan kini jenis penelitian ini juga dikenal dengan beberapa istilah yang berbeda, seperti *developmental research*, *design research*, *design-based research*, *formative research* dan *designed case* (Sahrir, dkk. 2012).

Istilah *Design and Development Research* (DDR) ini kemudian populer dikembangkan oleh Richey and Klien (2007), yang kemudian mendefinisikan DDR sebagai berikut: “*The systematic study of design, development and evaluation processes with the aim of establishing an empirical basis for the creation of instructional products and tools an new or enhanced models that govern their development*”.

Statemen Richey and Klien (2007) di atas dapat diartikan bahwa DDR merupakan studi sistematis tentang proses desain, pengembangan, dan evaluasi dengan tujuan membangun basis empiris untuk penciptaan produk atau alat pengajaran model baru yang dikembangkan. Artinya, dalam penelitian DDR hasil akhir dari penelitian ini merupakan pengembangan sebuah prodak dan nantinya dapat diuji cobakan.

Dewasa ini, penelitian DDR juga telah banyak digunakan untuk merancang dan mengembangkan berbagai produk dan program penelitian dalam bidang pendidikan (Markauskaite & Reimann, 2008) dan juga untuk menguji teori dan mevalidasi praktiknya (Richey & Klien, 2007). Sehingga perkembangan riset modern, DDR juga telah banyak berkontribusi dalam berbagai program pengembangan pembelajaran, pengembangan strategi dan bahan ajar, serta pengembangan produk dan sistem pembelajaran, tentu saja dengan tujuan untuk menyelesaikan berbagai masalah pendidikan yang kompleks (Plomp, 2007).

Oleh karenanya prosedur penelitian DDR terdiri atas tiga tahap yaitu analisis, desain dan pengembangan, serta evaluasi yang kemudian dijabarkan dalam gambar berikut:



Gambar 21. Prosedur Penelitian DDR

Sejalan dengan penjabaran bagan di atas, maka dalam penelitian ini peneliti juga akan melakukan prosedur penelitian pengembangan alat praktikum berbantuan sensor kamera ESP-32 pada pembelajaran konsep interferensi cahaya untuk melatih keterampilan proses sains ini berdasarkan pada ketiga tahapan sebagaimana di atas, yaitu studi analisis, desain dan pengembangan serta evaluasi yang selanjutnya prosedur penelitian tersebut akan dijelaskan lebih rinci sebagaimana pada penjelasan berikut.

3.2 Prosedur Penelitian Pengembangan

3.2.1 Prosedur Tahap I (Studi Analisis)

Tahap analisis merupakan langkah awal dalam penelitian DDR, dalam penelitian DDR tahapan ini disebut juga sebagai tahapan *preliminary research*. Tahap ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan terhadap desain dan konten yang hasilnya digunakan sebagai acuan dalam merancang program pengembangan tersebut (Plomp & Nieveen, 2010). Dalam melaksanakan tahapan *preliminary research* (analisis kebutuhan) ini ada beberapa aspek yang menjadi fokus perhatian peneliti dalam mengidentifikasi masalah. Diantaranya adalah untuk mendapatkan berbagai informasi seperti metode pembelajaran konsep interferensi cahaya, ketersediaan alat, keterampilan proses sains peserta didik, pengembangan alat yang telah ada sebelumnya, dan sebagainya.

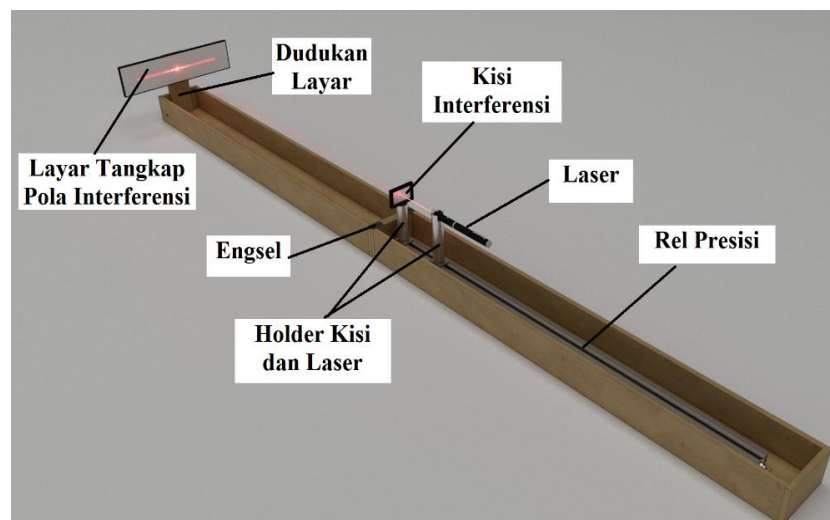
Sebagai tahapan studi awal dalam fase *preliminary research* (analisis kebutuhan) ini, peneliti melakukan penyebaran angket melalui media *google form* ke beberapa sekolah menengah atas yang berbeda. Penyebaran angket diajukan kepada guru dan peserta didik untuk mengetahui masalah yang ada pada proses pembelajaran fisika khususnya materi interferensi cahaya. Informasi yang diperoleh dari analisis kebutuhan menjadi dasar peneliti melakukan penelitian pengembangan ini. Tahap analisis juga didukung dengan mengumpulkan informasi melalui observasi, studi literatur, maupun internet.

3.2.2 Prosedur Tahap II (Desain dan Pengembangan)

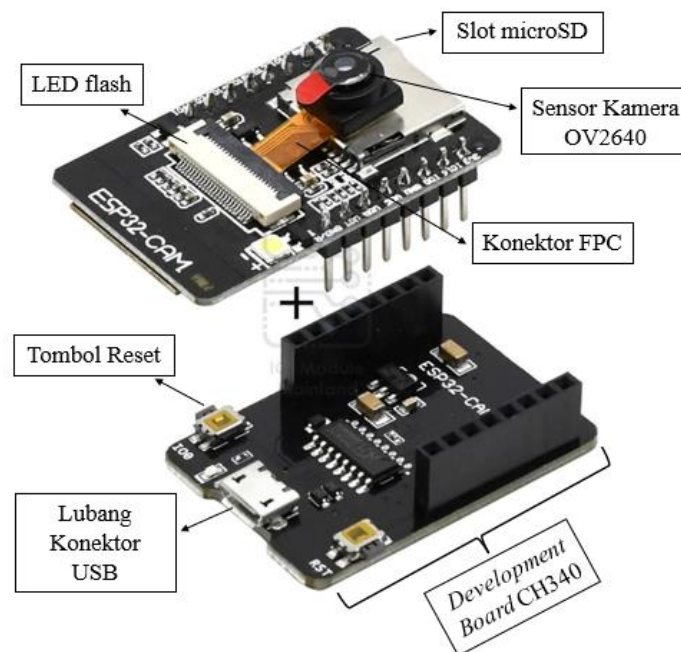
Tahap desain dan pengembangan dalam penelitian DDR juga dikenal dengan istilah *prototyping phases*. Tiga faktor yang termasuk dalam

fase *design and development* ini meliputi membangun kerangka berfikir konseptual termasuk fungsi dan kebutuhan produk, menganalisis solusi alternatif dan merancang arsitektur produk, menciptakan beberapa bentuk *prototype* alat atau konten program yang dikembangkan.

Alat yang sudah ada sebelumnya dianalisis kelebihan dan kekurangannya kemudian peneliti mengembangkan alat sehingga dapat mengatasi kekurangan alat sebelumnya. Alat interferensi cahaya yang ada sebelumnya hanya sebatas menghasilkan pola interferensi cahaya yang terbentuk tanpa dilakukannya analisis secara visual. Desain alat interferensi cahaya sederhana dapat dilihat pada Gambar 22 berikut.



Gambar 22. Rancangan Desain Alat Praktikum Interferensi Cahaya



Gambar 23. Rangkaian Bagian Kamera ESP-32 pada Alat Praktikum

1) Pemilihan Material

Material-material yang digunakan dalam pembuatan alat praktikum interferensi cahaya sederhana ini dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

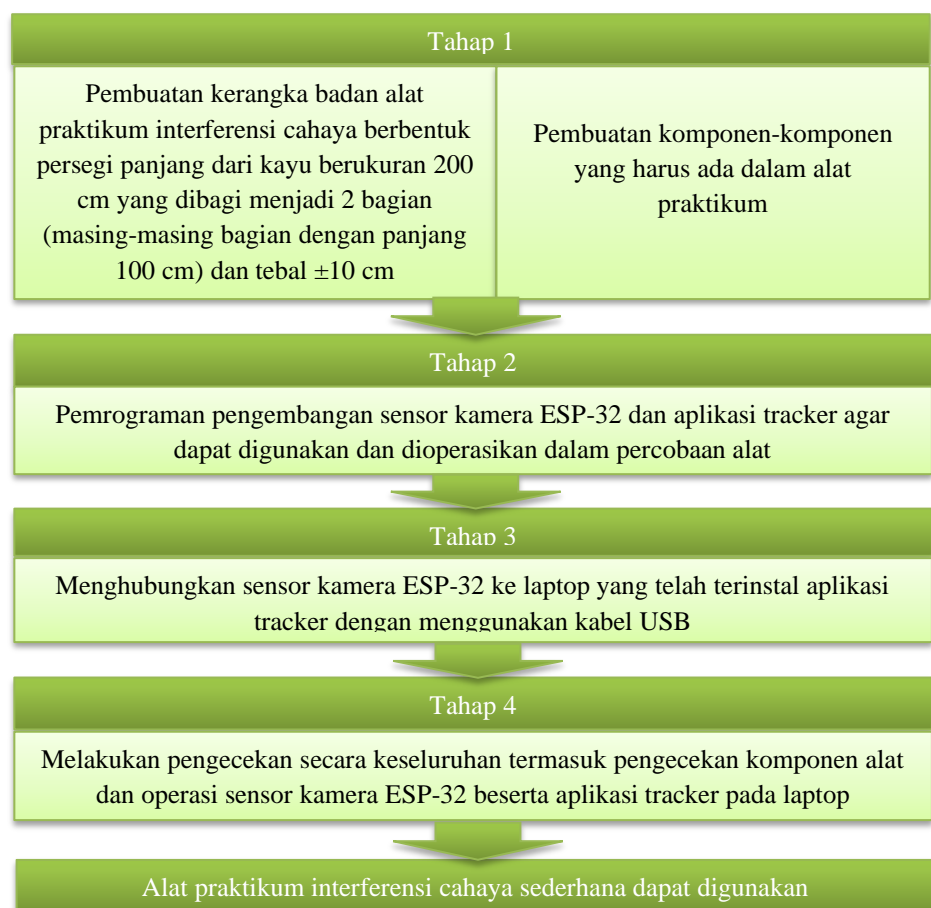
Tabel 4. Komponen Penyusun Alat Praktikum Interferensi Cahaya Sederhana

No.	Material	Fungsi
1.	Laser Mainan	Sebagai sumber sinar
2.	LCD Hp	Sebagai kisi interferensi
3.	Paralon	Dudukan LCD dan laser
4.	Rel Horden	Rel presisi untuk mempermudah pengubahan variabel percobaan yang memiliki ukuran panjang 90 cm
5.	Engsel	Menghubungkan antara kerangka papan satu dengan papan yang lainnya
6.	Akrilik	Dudukan kamera ESP-32
7.	Kamera ESP-32	Sensor kamera dan sebagai pengambil gambar pola interferensi cahaya
8.	Development board CH340	Sebagai kontroler, penyuplai daya pada sensor kamera, dan mempermudah pemrograman

No.	Material	Fungsi
8.	Toples plastik	Layar tangkap pola interferensi cahaya yang memiliki ukuran lebar 20 cm dan tinggi 10 cm
9.	Kabel USB	Menghubungkan modul kamera ESP-32 dengan laptop
10.	Laptop	Mengoperasikan aplikasi tracker untuk menganalisis hasil tangkap pola interferensi oleh kamera ESP-32

2) Prosedur Pembuatan Alat

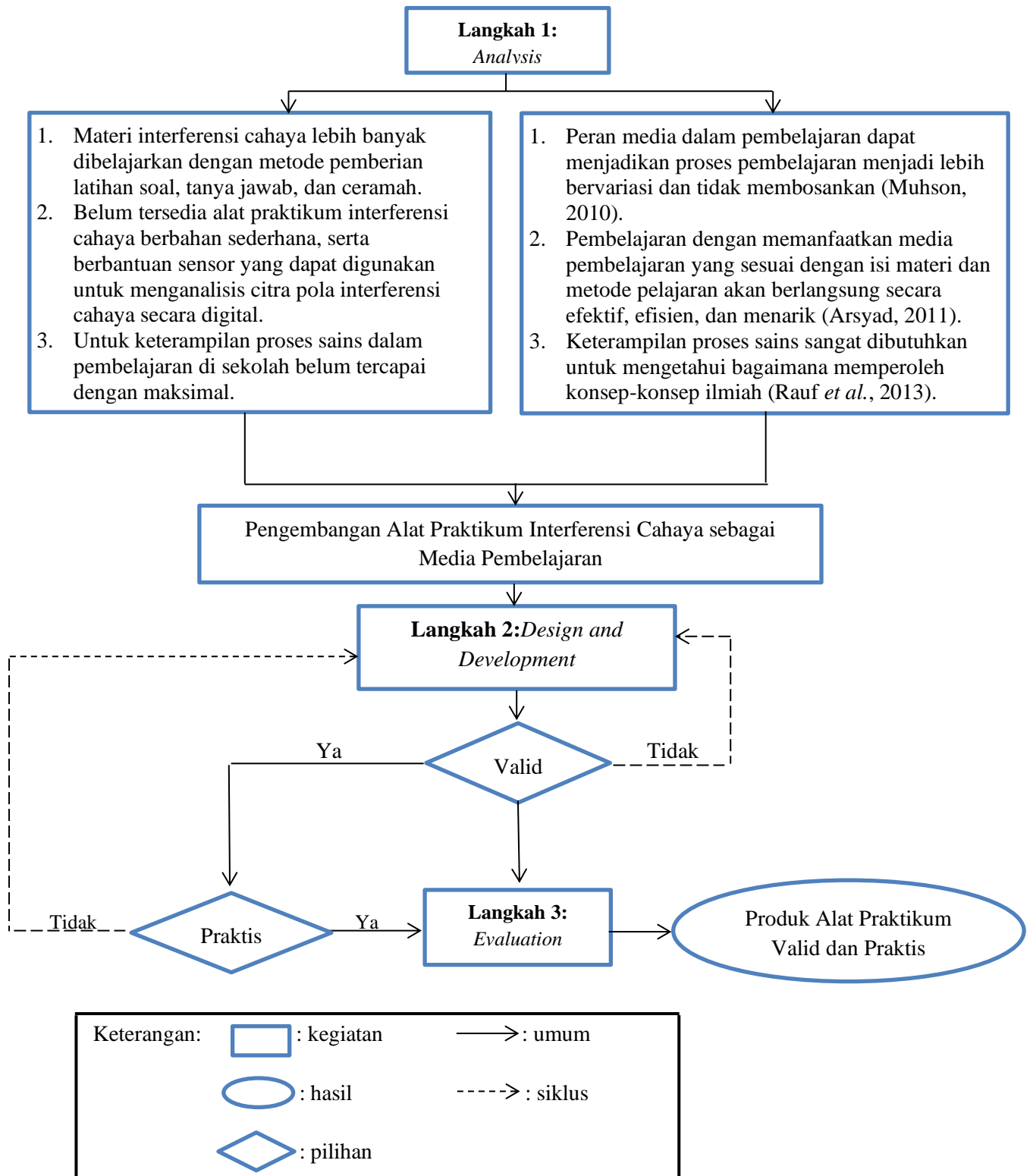
Pembuatan alat ini dimulai dengan mencari material-material yang dibutuhkan. Kemudian, peneliti mulai membuat alat menggunakan berbagai alat seperti solder, gergaji, penggaris, spidol, dan *cutter*. Tahapan pembuatan alat praktikum interferensi cahaya ditampilkan pada Gambar 24 berikut.



Gambar 24. Prosedur Pembuatan Alat Praktikum Interferensi Cahaya

3.2.3 Prosedur Tahap III (Evaluasi)

Tahap evaluasi pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perkembangan dalam proses penelitian dan untuk mengetahui pencapaian dari proses penelitian yang telah dilaksanakan. Pada tahap evaluasi, peneliti melakukan perbaikan di setiap tahap penelitian berdasarkan saran dan masukan dari validator maupun berdasarkan hasil uji coba secara mandiri (pra-uji validitas). Evaluasi dalam tahap ini bertujuan untuk menguji kevalidan dan kepraktisan alat praktikum interferensi cahaya yang dibuat agar dapat diperbaiki dan disempurnakan lagi sebelum diuji coba dalam skala yang lebih besar.



Gambar 25. Diagram Alur Tanggapan Penelitian dan Pengembangan

3.3 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu angket. Angket digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dalam mengembangkan alat praktikum interferensi cahaya sederhana. Pada penelitian ini, penyusunan angket dilakukan untuk beberapa tahapan seperti analisis dan pengembangan. Adapun penyusunan angket meliputi angket analisis kebutuhan, angket kevalidan, dan angket kepraktisan.

3.3.1 Angket Analisis Kebutuhan

Angket analisis kebutuhan berisi daftar pertanyaan yang ditujukan kepada guru dan peserta didik mengenai kegiatan pembelajaran fisika, khususnya materi interferensi cahaya di sekolah. Daftar pertanyaan yang digunakan untuk mengetahui fakta-fakta terhadap perilaku peserta didik dalam mempelajari konsep interferensi cahaya. Angket analisis kebutuhan juga digunakan untuk mengetahui pemakaian media pembelajaran yang digunakan guru, dan media pembelajaran yang diharapkan guru dan peserta didik untuk kedepannya. Kisi-kisi angket analisis kebutuhan yang diberikan kepada guru dan peserta didik dari sekolah menengah atas yang berbeda dapat dilihat pada masing-masing tabel yaitu Tabel 5 dan Tabel 6 berikut.

Tabel 5. Kisi-kisi Angket Guru pada Analisis Kebutuhan

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
1.	Kurikulum	Kurikulum yang diterapkan	1,2	3
		Implementasi kurikulum dalam proses pembelajaran	3	
2.	Konten	Tingkat kesulitan konsep interferensi cahaya	4	6
		Tingkat pemahaman peserta didik pada konsep interferensi cahaya	5	
		Pengetahuan yang harus dimiliki sebelum mempelajari konsep interferensi cahaya	6	

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
		Keterampilan proses sains peserta didik	7	
		Metode pembelajaran yang melatih keterampilan proses sains peserta didik	8,11	
3.	Media Pembelajaran	Karakteristik peserta didik	12	8
		Media yang digunakan dalam mempelajari konsep interferensi cahaya	13	
		Efektivitas media pembelajaran yang digunakan	14,15	
		Media yang sesuai kurikulum 2013	17	
		Ketersediaan alat konsep interferensi cahaya	9,10	
		Tingkat kepentingan alat konsep interferensi cahaya	16	
		Jumlah	17	17

Tabel 6. Kisi-kisi Angket Peserta Didik pada Analisis Kebutuhan

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
1.	Media Pembelajaran	Respon peserta didik terhadap pelajaran fisika	1,2,3	12
		Penggunaan media dalam mempelajari konsep interferensi cahaya	4,5	
		Media pembelajaran yang disukai peserta didik dalam mempelajari konsep interferensi cahaya	6	
		Pelaksanaan praktikum interferensi cahaya	7,9	
		Kemenarikan pembelajaran dengan kegiatan praktikum	8,10	
		Penggunaan <i>smartphone</i> untuk kepentingan dan ilmu pengetahuan	11,13	
2.	Materi Pembelajaran	Perbedaan antara interferensi cahaya dan difraksi cahaya	12	1
		Jumlah	13	13

3.3.2 Angket Kevalidan Produk

Angket uji validitas bertujuan untuk mengetahui tingkat kevalidan produk alat praktikum yang dikembangkan sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran interferensi cahaya. Angket uji validitas ini diisi oleh tiga orang validator yang ahli di bidang materi konstruk dan media. Angket yang digunakan dalam tahap ini menggunakan *rating-scale* dengan 4 kategori penilaian dari yang tertinggi, yaitu 4,3,2, dan 1. Ahli dapat memberikan masukan pada bagian komentar dan saran jika merasa ada yang harus diperbaiki dari alat pada aspek materi atau media. Kisi-kisi angket kevalidan produk dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Kisi-kisi Angket Validasi Produk Alat Praktikum

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
1.	Materi	Seberapa baik alat praktikum interferensi cahaya sederhana yang dikembangkan dapat membantu guru dalam menyajikan materi interferensi cahaya sesuai dengan <u>Kompetensi Dasar?</u>	1	3
		Seberapa baik alat praktikum interferensi cahaya sederhana yang dikembangkan dapat membantu guru dalam menyajikan materi interferensi cahaya sesuai dengan tujuan pembelajaran?	2	
		Seberapa baik alat praktikum interferensi cahaya sederhana ini dapat membantu peserta didik untuk mempelajari konsep interferensi cahaya?	3	
2	Kebermanfaatan pada Keterampilan Proses Sains	Seberapa baik alat praktikum yang dikembangkan ini dapat membantu guru untuk melatih kemampuan peserta didik dalam melakukan observasi pola interferensi?	4	6
		Seberapa baik alat praktikum yang dikembangkan dapat membantu peserta didik dalam menentukan variabel respon dan	5	

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
		variabel terikat dalam percobaan?		
		Seberapa baik alat praktikum ini dapat membantu peserta didik merumuskan hipotesis terkait objek yang sedang diamati	6	
		Seberapa baik alat praktikum ini dapat membantu peserta didik dalam menguji hipotesis yang telah dirumuskan melalui kegiatan percobaan	7	
		Seberapa baik alat praktikum yang dikembangkan dapat membantu peserta didik untuk merepresentasikan hasil percobaan dengan simbol, persamaan, grafik, dan tabel?	8	
		Seberapa baik alat praktikum ini dapat membantu peserta didik dalam menafsirkan data hasil percobaan?	9	
3.	Ilustrasi	Seberapa baik alat praktikum yang dikembangkan dapat memberikan visualisasi yang sesuai dengan fenomena interferensi cahaya?	10	3
		Seberapa baik alat praktikum yang dikembangkan ini dapat menghasilkan pola interferensi cahaya yang jelas (terang/tidak blur)?	11	
		Seberapa baik alat praktikum yang dikembangkan dapat mempermudah peserta didik dalam memvisualisasikan pola interferensi cahaya sesuai dengan teori?	12	
4.	Kualitas dan Tampilan Alat Praktikum	Seberapa baik tampilan alat praktikum interferensi cahaya sederhana ini dapat membangun rasa ingin tahu peserta didik?	13	6
		Seberapa baik alat praktikum interferensi cahaya sederhana yang dikembangkan ini mudah dioperasikan?	14	
		Seberapa baik alat praktikum yang dikembangkan ini dapat digunakan untuk mengambil data percobaan?	15	

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
		Seberapa baik alat bantu tracker dalam menganalisis data hasil percobaan dengan menggunakan alat praktikum yang dikembangkan ini sesuai dengan teori?	16	
		Seberapa baik alat praktikum interferensi cahaya sederhana yang dikembangkan ini mudah dirangkai kembali?	17	
		Seberapa baik alat praktikum interferensi cahaya sederhana yang dikembangkan ini mudah dibawa bawa?	18	
		Jumlah	18	18

Sistem penskoran menggunakan skala *Likert* yang diadaptasi dari Ratumanan & Laurent (2011) dapat dilihat seperti pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Skala Likert pada Angket Uji Validitas

Pilihan Jawaban	Skor
Sangat baik	4
Baik	3
Kurang baik	2
Tidak baik	1

3.3.3 Angket Kepraktisan Produk

Angket uji kepraktisan diisi oleh enam orang mahasiswa sebagai pengguna yang bertujuan untuk mengetahui tanggapan mereka terkait kepraktisan dari alat praktikum interferensi cahaya sederhana yang telah dikembangkan. Terdapat empat aspek yang dinilai dalam angket kepraktisan produk, aspek-aspek tersebut diadaptasi dari Festiana *et al.*, (2019). Angket yang digunakan dalam tahap ini menggunakan *rating-scale* dengan 4 kategori penilaian dari yang tertinggi, yaitu 4,3,2, dan 1. Kisi-kisi angket kepraktisan produk dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Kisi-kisi Angket Kepraktisan Produk Alat Praktikum

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
1.	<i>Usefulness</i>	Alat praktikum ini dapat membantu lebih memahami konsep interferensi cahaya	1	5
		Alat praktikum ini dapat membantu lebih efektif dalam mempelajari materi interferensi cahaya	2	
		Alat praktikum ini dapat melatih agar aktif dan kreatif dalam pembelajaran	3	
		Alat praktikum ini dapat mempermudah dalam memvisualisasikan pola interferensi cahaya	4	
		Alat praktikum ini dapat meminimalisir salah konsep tentang interferensi cahaya	5	
2.	<i>Ease of Use</i>	Alat praktikum ini mudah dirangkai	6	5
		Alat praktikum ini mudah digunakan	7	
		Alat praktikum ini praktis digunakan	8	
		Alat praktikum ini nyaman digunakan	9	
		Alat praktikum ini mudah dibawa	10	
3.	<i>Ease of Learning</i>	Alat praktikum ini mudah untuk dipelajari cara penggunaannya	11	4
		Alat praktikum ini dilengkapi dengan buku panduan yang sangat membantu	12	
		Saya mudah mengingat bagaimana cara menggunakan alat praktikum ini dengan baik	13	
		Saya dapat terampil menggunakan alat praktikum ini dengan cepat	14	
4.	<i>Satisfaction</i>	Alat praktikum ini memiliki tampilan yang menarik	15	6
		Alat praktikum ini bekerja dengan baik	16	
		Alat praktikum ini menyenangkan untuk digunakan	17	

No.	Aspek	Indikator	No. Pernyataan	Jumlah
		Alat praktikum ini dapat digunakan untuk mengambil data percobaan dengan baik	18	
		Hasil analisis data percobaan alat praktikum ini sesuai dengan teori	19	
		Saya puas dengan alat praktikum ini, dan merekomendasikan alat praktikum ini dalam pembelajaran	20	
		Jumlah	20	20

Sistem penskoran menggunakan skala *Likert* yang diadaptasi dari Ratumanan & Laurent (2011) dapat dilihat seperti pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Skala *Likert* pada Angket Uji Kepraktisan

Pilihan Jawaban	Skor
Sangat baik	4
Baik	3
Kurang baik	2
Tidak baik	1

3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian pengembangan ini yaitu dengan cara menganalisis hasil uji validitas dan uji kepraktisan terhadap produk yang dikembangkan.

3.4.1 Analisis Data Uji Validitas

Data validitas diperoleh dari angket uji ahli materi serta angket uji ahli materi dan media yang diisi oleh validator. Instrumen yang digunakan memiliki empat kriteria pilihan jawaban, yang dianalisis dengan analisis persentase (Sudjana, 2005).

$$\%X = \frac{\sum \text{Skor yang diperoleh}}{\sum \text{Skor maksimum}} \times 100\%$$

Data yang diperoleh dari hasil uji validitas kemudian dikonversi agar diketahui kriterianya. Pengkonversian skor penilaian diadaptasi dari Arikunto (2011) seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Konversi Skor Penilaian Uji Validitas

Persentase	Kriteria
0,00%-20%	Validitas sangat rendah/tidak baik
20,1%-40%	Validitas rendah/kurang baik
40,1%-60%	Validitas sedang/cukup baik
60,1%-80%	Validitas tinggi/baik
80,1%-100%	Validitas sangat tinggi/sangat baik

Berdasarkan Tabel 11, peneliti memberikan batasan terhadap produk yang dikembangkan bahwa terkategori valid apabila dapat mencapai skor minimal 60% yaitu dengan kriteria validitas sedang/cukup baik.

3.4.2 Analisis Data Uji Kepraktisan

Data uji kepraktisan diperoleh dari angket yang diisi oleh mahasiswa sebagai pengguna yang terdiri dari 4 aspek penilaian yaitu *usefulness*, *ease of use*, *ease of learning*, dan *satisfaction*. Angket tersebut kemudian dianalisis menggunakan analisis persentase (Sudjana, 2005).

$$\%X = \frac{\sum \text{Skor yang diperoleh}}{\sum \text{Skor maksimum}} \times 100\%$$

Data yang diperoleh kemudian dikonversi agar diketahui kriterianya dengan pengkonversian skor penilaian yang diadaptasi dari Arikunto (2011) seperti pada Tabel 12.

Tabel 12. Konversi Skor Uji Kepraktisan

Persentase	Kriteria
0,00%-20%	Kepraktisan sangat rendah/Tidak baik
20,1%-40%	Kepraktisan rendah/Kurang baik
40,1%-60%	Kepraktisan sedang/Cukup baik
60,1%-80%	Kepraktisan tinggi/Baik
80,1%-100%	Kepraktisan sangat tinggi/Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 12, peneliti memberikan batasan bahwa produk yang dikembangkan terkategori praktis apabila dapat mencapai skor minimal 60% yaitu dengan kriteria kepraktisan sedang/cukup baik.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 dinyatakan valid melalui 4 aspek penilaian yaitu materi, kebermanfaatan pada keterampilan proses sains, ilustrasi, serta kualitas dan tampilan alat praktikum. Berdasarkan 4 aspek tersebut diperoleh nilai rata-rata akhir sebesar 0.86 yang dipersentasekan sehingga menjadi 86% dengan kategori validitas sangat tinggi.
2. Kepraktisan alat praktikum interferensi cahaya berbantuan sensor kamera ESP-32 dinyatakan berdasarkan 4 aspek penilaian yaitu *usefulness*, *ease of use*, *ease of learning*, dan *satisfaction*. Dari keempat aspek penilaian tersebut diperoleh nilai rata-rata akhir sebesar 0.84 yang dipersentasekan sehingga menjadi 84% dengan kategori kepraktisan sangat tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengembangan yang telah dilakukan, maka peneliti memberikan saran sebagai berikut.

1. Pada penelitian berikutnya disarankan untuk melakukan uji kelompok kecil secara langsung. Uji kelompok kecil ini dapat dilakukan di laboratorium maupun di tempat lain.

2. Pada penelitian berikutnya disarankan tidak perlu menginstal aplikasi *tracker* pada laptop atau komputer yang digunakan. Hal ini disebabkan pada *update* terbaru aplikasi *tracker* sudah mengusung fitur *online access*, sehingga saat ini pengguna tidak perlu lagi menginstal aplikasi *tracker* di laptop atau komputer mereka. *Tracker* secara *online* dapat diakses melalui <https://physlets.org/tracker/trackerJS/>
3. Pada penelitian berikutnya disarankan dalam menyimpan gambar hasil pola tangkap yang terekam oleh modul kamera dengan memanfaatkan slot *microSD* yang terdapat dalam ESP-32, sehingga tidak perlu menggunakan cara *screenshot* dalam menyimpan gambar.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto, E. 2015. Pengembangan Media Pembelajaran Alat Peraga pada Materi Hukum Biot Savart di SMA Negeri 1 Prambanan Klaten. *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika*, 2(1): 20.
- Agustina, R. D., Andhika, S., Cesariyanti, Y., Putra, R. P., Putri, A., & Dermawan, M. D. 2022. Penggunaan PHET Virtual Lab dalam Uji Jarak Pola Gelap Terang pada Interferensi. *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*. 7(1): 52-58.
- Aini, K., & Dwiningsih, K. 2014. Penerapan Model Pembelajaran Inkuiri dengan Hands on Minds on Activity untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Materi pokok Termokimia. *UNESA Journal of Chemical Education*. 3(1): 99-105.
- Aktamis H, & Yenice N. 2010. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 2(2): 3282– 3288.
- Al-Mutawah, M. A., Thomas, R., Eid, A., Mahmoud, E. Y., & Fateel, M. J. 2019. Conceptual Understanding, Procedural Knowledge and Problem-Solving Skills in Mathematics: High School Graduates Work Analysis and Standpoints. *International Journal of Education and Practice*. 7(3): 258-273.
- Ambrose, B. S., Shaffer, P. S., Steinberg, R. N., & Mcdermott, L. C. 1999. An Investigation of Student Understanding of Single-Slit Diffraction and Double-Slit Interference. *American Journal of Physics*. 67(2): 146-155.
- Ambross, J., Meiring, L., & Blignaut, S. 2014. The Implementation and Development of Science Process Skills in The Natural Sciences: A Case Study of Teachers' Perceptions. *Africa Education Review*. 11(3): 459-474.
- Anderson, W. L. & Krathwohl, R. D. 2001. *Kerangka Landasan Pembelajaran dan Asesmen Revisi Taksonomi Bloom Revisi*. Terjemahan oleh Prihantoro, A. 2010. Yogyakarta: Pustaka Belajar.
- Antrakusuma, B., Masykuri, M., & Ulfa, M. 2017. Analysis Science Process Skills Content in Chemistry Textbooks Grade XI at Solubility and

Solubility Product Concept. *International Journal of Science and Applied Science: Conference Series*. 2(1): 72-78.

- Arikunto, S. 2011. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Arsyad, A. 2011. *Media Pembelajaran*. Jakarta: Rajawali Press.
- Asrizal, Yohandri, & Kamus, Z. 2018. Studi Hasil Pelatihan Analisis Video dan Tool Pemodelan Tracker pada Guru MGMP Fisika Kabupaten Agam. *Jurnal Eksakta Pendidikan*. 2(1): 41-48.
- Ateş, Ö., & Eryilmaz, A. 2011. Effectiveness of Hands-on and Minds-on Activities on Students' Achievement and Attitudes Towards Physics. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. 12(1): 1-22.
- Beaumont-Walters, Y., & Soyibo, K. 2001. An Analysis of High School Students' Performance on Five Integrated Science Process Skills. *Research in Science & Technological Education*. 19(2): 133-145.
- Brotherton, P. N., & Preece, P. F. 1995. Science Process Skills: Their Nature and Interrelationships. *Research in Science & Technological Education*. 13(1): 5-11.
- Brühlmeier, A. 2010b. Head, Heart and Hand: Education in the Spirit of Pestalozzi - Arthur Brühlmeier - Google Libros. In Open Book Publishers . Open Book Publishers.
https://books.google.es/books?id=SEFRmqJOeRQC&printsec=frontcover&dq=pestalozzi&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj9n_-L--znAhWDr3EKHWYtA-kQ6AEIODAC#v=onepage&q&f=false
- Camalia, F., Susanto, H., & Susilo. 2016. Pengembangan Audiobook Dilengkapi Alat Peraga Materi Getaran dan Gelombang untuk Tunanetra Kelas VIII SMP. *Unnes Physics Education Journal*. 5(2): 66-79.
- Chiappetta, E. L., & Koballa, T. R. 2002. *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall
- Collette A T & Chiappetta E L. 1998. *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools* 4th Edition Pearson, US.
- Colombo, E., Jaen, M., & de Cudmani, L. C. 1995. The Concept of Coherence of Learning Physical Optics. *International Society for Optics and Photonics*. 2525: 452-458.
- Dai, R., Fritchman, J. C., Liu, Q., Xiao, Y., Yu, H., & Bao, L. 2019. Assessment of Student Understanding on Light Interference. *Physical Review Physics Education Research*. 15(2): 1-15.
- De Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. 1996. Types and Qualities of Knowledge. *Educational Psychologist*. 31(2): 105-113.

- Desy, Desnita, & Raihanati. 2015. Pengembangan Alat Peraga Fisika Materi Gerak Melingkar Untuk SMA. In Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta (pp. 39–44). Jakarta.
- Dewi, M. L. 2015. Pengembangan Modul Praktikum Fisika Berbasis Data Logger untuk SMA. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF*, (4): 169- 172.
- Diniarti, Y. P., & Dwiningsih, K. 2015. Implementation Hands-on and Minds-on Activity Approach Through Guided Inquiry on The Subject Matters of The Factors that Affect The Reaction Rate in The Class of XI IPA SMAN 1 Sooko Mojokerto. *UNESA Journal of Chemical Education*. 4(2): 401-408.
- Edie, S. S., Masturi, Safitri, H. N., Alighiri, D., Susilawati, Sari, L. M., . . . Iswari, R. S. 2017. The Effect of Using Bomb Calorimeter in Improving Science Process Skills of Physics Students. *International Conference on Mathematics, Science and Education*. 1-8.
- Festiana, I., Herlina, K., Kurniasari, L. S., & Haryanti, S. S. 2019. Damping Harmonic Oscillator (DHO) for Learning Media in The Topic Damping Harmonic Motion. *International Conference on Mathematics and Science Education*. 1157(3): 1-6.
- Gagne, R.M. 1965. *The Psychological Bases of Science—a Process Approach*. Washington DC: AAA
- Gazibara, S. 2013. “Head, Heart and Hands Learning” - A challenge for Contemporary Education. *Journal of Education Culture and Society*. 4(1): 71– 82.
- Gürses, A., Çetinkaya, S., Doğar, Ç., & Şahin, E. 2015. Determination of Levels of Use of Basic Process Skills of High School Students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 191: 644 – 650.
- Giordano, N. J. 2010. *College Physics: Reasoning and Relationship*. 1 st ed. USA: Brooks/Cole.
- Guswantoro, T. 2016. Penentuan Kerapatan Piksel LCD dengan Menggunakan Prinsip Pantulan dan Interferensi . *Makalah Prosiding Lokakarya Ilmiah Nasional Aplikasi Optik dan Fotonik*. 91-96.
- Habibulloh, M., & Madlazim. 2014. Penerapan Metode Analisis Video Software Tracker dalam Pembelajaran Fisika Konsep Gerak Jatuh Bebas untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Siswa Kelas X SMAN 1 Sooko Mojokerto. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Aplikasinya*. 4(1): 15-22.
- Halliday, D., & Resnick, R. 1998. *Fisika Jilid 2 Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga.
- Harlen, W. 1999. Purposes and Procedures for Assessing Science Process Skills. *Assessment in Education*. 6(1): 129-144.

- Hart C, Mulhall P, Berry A, Loughran J, & Gunstone R. 2000. *Journal of Research in Science Teaching J Res Sci Teach.* 37(37): 655–675.
- Haury, D. L., & Rillero, P. 1994. Perspectives of Hands-on Science Teaching. *In Perspectives of Hands-On Science Teaching.*
- Hodosyová, M., Útla, J., Vanyová, M., Vnuková, P., & Lapitková, V. 2015. The Development of Science Process Skills in Physics Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences.* 186(1): 982-989.
- Holstermann, N., Grube, D., & Bögeholz, S. 2010. Hands-on Activities and Their Influence on Students' Interest. *Res Sci Educ.* 40(1): 743-757.
- Jalil, S., Herman, Ali, M. S., & Haris, A. 2018. Development and Validation of Science Process Skills Instrument in Physics. *Journal of Physics.* 1028(1): 1-6.
- Jensen, E. 2005b. *Teaching with the Brain in Mind, 2nd Edition.* Educa.
- Jensen, E. 2009. Super teaching: Over 1000 Practical Strategies. *In Super Teaching: Over 1000 Practical Strategies.* Educa.
- Kazeni, M. M. M. 2008. *Development and Validation of a Test of Integrated Science Process Skills for The Further Education and Training Learners* (Doctoral dissertation, University of Pretoria).
- Kholifudin, M. Y. 2017. Sinar Laser Mainan sebagai Alternatif Sumber Cahaya Monokromatik Praktikum Kisi Difraksi Cahaya. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika.* 8(2): 129-134.
- Kustandi dan Sutjipto. 2011. *Media Pembelajaran Manual dan Digital.* Ghalia Indonesia, Bogor. 125 hlm.
- 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. *Unnes Physics Education Journal.* 9(1): 27-35.
- Mešić, V., Hajder, E., Neumann, K., & Erceg, N. 2016. Comparing Different Approaches to Visualizing Light Waves: An Experimental Study on Teaching Wave Optics. *Physical Review Physics Education Research.* 12(1): 1-18.
- Muhson, A. 2010. Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Teknologi Informasi. *Jurnal Pendidikan Akuntansi Indonesia.* 8(2): 1-10.
- Nana, S. 2010. *Dasar-dasar Proses Pembelajaran.* Sinar Baru, Bandung. 72 hlm.
- Noerifanza, A. 2022. Analisa Performa Modul ESP32 Sebagai Perangkat untuk Sistem Pengenalan Objek. *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication.* 3(2): 1-12.

- Ong, E. T., Ramiah, P., Ruthven, K., Salleh, S. M., Yusuff, N. A., & Mokhsein, S. E. (2015). Acquisition of Basic Science Process Skills Among Malaysian Upper Primary Students. *Research in Education*: 1(94): 88-101.
- Ongowo, R. O., & Indoshi, F. C. 2013. Science Process Skills in the Kenya Certificate of Secondary Education Biology Practical Examinations. *Creative Education*. 4(11): 713-717.
- Özgelen, S. 2012. Students' Science Process Skills Within a Cognitive Domain Framework. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. 8(4): 283-292.
- Panuluh, A. H., Atmajati, E. D., & Sulandari, S. A. 2020. Otomatisasi Eksperimen Interferensi Tiga Celah. *Jurnal Fisika Flux*. 17(2): 119-124.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. 2015. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*. 14: 47–61.
- Plomp, T. 2007. *Educational design-based research: An introduction*. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *An Introduction to Educational Design-based research. Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai (PR China)*, November 23-26, 2007 (pp. 9-33): SLO Netherlands institute for curriculum development.
- Plomp, T., & Nieveen, N. M. (Eds.) 2010. *An introduction to educational design research: Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University, Shanghai (PR China)*, November 23-26, 2007. (3rd print ed.) Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO).
- Putra, R. A. 2018. Peran Teknologi Digital dalam Perkembangan Dunia Perancangan Arsitektur. *Journal of Islamic Science and Technology*. 4(1): 67-78.
- Pramesty, R. I., & Prabowo. 2013. Pengembangan Alat Peraga KIT Fluida Statis Sebagai Media Pembelajaran Pada Sub Materi Fluida Statis di Kelas XI IPA SMA Negeri 1 Mojokerto. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*. 2(3): 70–74.
- Ratumanan, T., & Laurent, T. 2011. *Penilaian Hasil Belajar Pada Tingkat Satuan Pendidikan*. Surabaya: Unesa University Press.
- Rauf, R. A., Rasul, M. S., Mansor, A. N., Othman, Z., & Lyndon, N. 2013. Inculcation of Science Process Skills in a Science Classroom. *Asian Social Science*. 9(8): 47-57.
- Redhana, I. W. 2019. Mengembangkan Keterampilan Abad ke-21 dalam Pembelajaran Kimia. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*. 13(1): 2239-2253.

- Reynolds, A. J. 1991. Effects of an Experiment-Based Physical Science Program on Cognitive Outcomes. *The Journal of Educational Research*. 84(5): 296-302.
- Richey, R. C. & Klien, J. D. 2007. *Design and Development Research, Method, Strategies, and Issues*. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rittle-Johnson, B., & Alibali, M. W. 1999. Conceptual and Procedural Knowledge of Mathematics: Does One Lead To The Other? *Journal of Educational Psychology*. 91(1): 175-189.
- Sadi, Ö., & Cakiroglu, J. 2011. Effects of Hands on Activity Enriched Instruction on Students' Achievement and Attitudes Towards Science. *Journal of Baltic Science Education*. 10(2): 87-97.
- Sahrir, M.S dkk. 2012. "Employing Design and Development Research (DDR) Approaches in The Design and Development of Online Arabic Vocabulary Learning Games Prototype". *Jurnal The Turkish Online Journal of Educational Technology*. 11(2): 108- 119.
- Şengören, S. K. 2010. How do Turkish High School Graduates use The Wave Theory of Light to Explain Optics Phenomena? *Physics Education*. 45(3): 253-263.
- Senka, G. 2013. "Head, Heart and Hands Learning" - A Challenge for Contemporary Education. *Journal of Education Culture and Society*. 4(1): 71-82.
- Serway, R., & Jewett, J. 2014. *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*. Boston, MA: Cengage Learning.
- Setiawan, A., Pursitasari, I. D., & Hardhienata, H. 2018. Pengembangan KIT Praktikum Difraksi dan Interferensi Cahaya untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Kemampuan Berpikir Kritis. *Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran*. 5(1).
- Sudjana. 2005. *Metode Statistik (6th Ed.)*. Bandung: PT. Tarsito.
- Sugito, H., SB, W., Firdausi, K. S., & Mahmudah, S. 2005. Pengukuran Panjang Gelombang Sumber Cahaya Berdasarkan Pola Interferensi Celah Banyak. *Berkala Fisika*. 8(2): 37-44.
- Suwarno, D. U. 2017. Analysis of Rotating Object Using Video Tracker. *Journal of Science and Science Education*, 1(2): 75-80.
- Trocaru, S., Berlic, C., Miron, C., & Barna, V. 2020. Using Tracker as Video Analysis and Augmented Reality Tool for Investigation of The Oscillations for Coupled Pendula. *Romanian Reports in Physics*. 72(92): 1-16.

- Ulum, M., Firmansyah, R. A., & Fibonacci, A. 2019. Effectiveness of Hands on Minds on Activities Based on SocioScientific Issue on Scient Literation. *Paedagogia*. 22(2): 159-170.
- Wee, L. K., & Lee, T. L. 2011. Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education: A Workshop for Redesigning Pedagogy. *Workshop at The 4th Redesigning Pedagogy International Conference*. 1-5.
- Wijaya, A., Ertikanto, C., Andra, D., & Herlina, K. 2022. Development of Simple Light Diffraction Props Assisted by Tracker Application with Camera Module and Arduino UNO. *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika)*. 7(3): 306-315.
- Young, D. H., & Roger, A. F. 2004. *Fisika Universitas Jilid 2*, diterjemahkan oleh: Pantur Silahan. Jakarta: Erlangga.
- Young, David., & Stadler, Shane. 2018. *Physics Eleven Edition*. Louisiana: Willey.
- Zeidan, A. H., & Jayosi, M. R. 2015. Science Process Skills and Attitudes Toward Science Among Palestinian . *World Journal of Education*. 5(1): 13-24.