

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM HUKUM BOYLE SEDERHANA
UNTUK MELATIHKAN KETERAMPILAN PROSES SAINS**

(Skripsi)

Oleh

**Luqman Hakim
NPM 1913022037**



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM HUKUM BOYLE SEDERHANA UNTUK MELATIHKAN KETERAMPILAN PROSES SAINS

Oleh

Luqman Hakim

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat praktikum hukum Boyle yang valid dan praktis untuk melatih keterampilan proses sains dalam pembelajaran konsep hukum Boyle di sekolah. Ketidaktersediaan alat praktikum sebagai media pembelajaran yang membantu dalam menjelaskan konsep hukum Boyle di sekolah menjadi dasar utama dilakukannya penelitian ini. Penelitian ini menggunakan model pengembangan *Design and Development Research* yang diadaptasi dari Richey and Klien (2007) dengan tahapan yaitu *analysis, design, development, dan evaluation*. Alat praktikum yang dikembangkan dideskripsikan menjadi produk pengembangan yang valid dan praktis apabila telah melewati uji validitas dan penilaian kepraktisan. Uji validitas memperoleh persentase sebesar 88% dengan kategori validitas sangat tinggi. Penilaian kepraktisan alat praktikum diperoleh dari persepsi guru, respon peserta didik, dan analisa keterampilan proses sains. Persepsi guru memperoleh persentase sebesar 83% dengan kategori sangat baik. Respon peserta didik memperoleh persentase sebesar 90% dengan kategori sangat baik. Analisa keterampilan proses sains memperoleh persentase sebesar 86% dengan kategori sangat baik. Berdasarkan hasil uji validitas dan penilaian kepraktisan yang telah diperoleh, dapat dinyatakan bahwa alat praktikum yang dikembangkan valid dan praktis sehingga cocok diterapkan untuk melatih keterampilan proses sains pada pembelajaran konsep hukum Boyle di Sekolah.

Kata Kunci: Hukum Boyle, Keterampilan Proses Sains, *Blynk, Mikrokontroler ESP32, BMP280*.

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM HUKUM BOYLE SEDERHANA
UNTUK MELATIHKAN KETERAMPILAN PROSES SAINS**

Oleh

Luqman Hakim

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2024**

Judul Skripsi : **PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM
HUKUM BOYLE SEDERHANA UNTUK
MELATIHKAN KETERAMPILAN PROSES
SAINS**

Nama Mahasiswa : **Luqman Hakim**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1913022037**

Program Studi : **Pendidikan Fisika**

Jurusan : **Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

Fakultas : **Keguruan dan Ilmu Pendidikan**




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


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

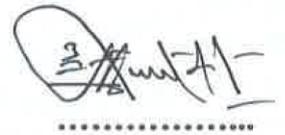
2. **Ketua Jurusan Pendidikan MIPA**


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 Pembimbing : **Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si.**



.....



Dean Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 Februari 2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini adalah :

Nama : Luqman Hakim

NPM : 1913022037

Fakultas/Jurusan : KIP / Pendidikan MIPA

Program Studi : Pendidikan Fisika

Alamat : Jl.H. Kimah RT 05 RW 01, Kelurahan Rangkapan Jaya
Baru, Kecamatan Pancoranmas, Kota Depok, Provinsi Jawa
Barat.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

Bandar Lampung, 29 Februari 2024



Luqman Hakim
NPM 1913022037

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta, pada tanggal 24 Februari 2001, anak kedua dari empat bersaudara, dari pasangan Bapak Abdul Mutholib dan Ibu Jariyah. Penulis mengawali pendidikan formal di TK Pinang Jakarta Selatan pada tahun 2006, melanjutkan di SD Negeri Rawadenok pada tahun 2007 dan selesai pada tahun 2013, melanjutkan ke SMP Negeri 9 Depok pada tahun 2013 yang diselesaikan pada tahun 2016, kemudian masuk SMA Negeri 6 Depok yang diselesaikan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019 penulis diterima di Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lampung. Selama menempuh pendidikan di Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Lampung, penulis dipercaya menjadi pengurus di beberapa organisasi kampus diantaranya menjadi Ketua Divisi Kerohanian Almafika 2021, Sekretaris Umum FPPI 2021, dan Ketua DPM FKIP Universitas Lampung 2022. Selain aktif berorganisasi, penulis juga pernah meraih prestasi dengan memperoleh juara 3 MTQ Dies Natalis FKIP 2021. Pada tahun 2022 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Ciasmara, Kecamatan Pamijahan, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat, dan Pengenalan Lapangan Persekolahan (PLP) di SMA Muhammadiyah Pamijahan, Kabupaten Bogor.

MOTTO

“Maka sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S. Al-Insyirah : 5-6)

“Hidup itu seperti mengendarai sepeda. Untuk tetap membuatnya seimbang, kita harus tetap bergerak”

(Albert Einstein)

“Untuk Allah, agama, dan bangsaku”

(Luqman Hakim)

PERSEMBAHAN

Assalamuálaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadirat Allah *subhanahu wa taála* yang selalu memberikan limpahan rahmat-Nya dan semoga shalawat selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad *shalallahu álaihi wasallam*. Dengan kerendahan hati, penulis mempersembahkan karya sederhana ini sebagai tanda bakti kasih tulus kepada :

1. Orang tua tersayang, Ibu Jariyah dan Bapak Abdul Mutholib yang telah sepenuh hati membesarkan, mendidik, mendoákan, serta mendukung segala bentuk perjuangan anaknya. Semoga Allah senantiasa menguatkan langkah untuk selalu membahagiakan dan membanggakan kalian.
2. Kakak dan adik-adik tersayang, Marátus Sholihah, Abdullah Azzam, dan Aisyah Qonita yang telah memberikan do'a dan semangat. Semoga dipermudah langkah kalian untuk menggapai cita-cita dan semua harapan.
3. Semua keluarga besar, baik dari Alm. Mbah Murdiah maupun Mbah Umri yang telah memberikan dukungan.
4. Teman-teman SIGMA 2019 yang sudah berjuang bersama di Program Studi Pendidikan Fisika.
5. Rekan-rekan yang telah banyak membantu dalam project alat yang saat ini penulis jadikan sebagai skripsi yaitu Ridwan, Muzayyin, Rafi, Dita, dan Amril

6. Yayasan Baitul Maal BRI yang telah memberikan bantuan dana pendidikan dan fasilitas penunjang perkuliahan lainnya kepada penulis melalui beasiswa Bright Scholarship.
7. Teman-teman Bright Scholarship 5 putra yang telah melewati suka duka bersama dan ditempa dalam satu atap yang sama.
8. Ibu Dwi dan teman-teman hamizan.
9. Teman-teman pengurus Almafika 2021, FPPI FKIP Unila 2021, dan DPM FKIP Unila 2022.
10. Teman-teman KKN Desa Ciasmara, Kecamatan Pamijahan, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat untuk segenap cerita bersama.

SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji syukur kehadiran Allah *subhanahu wa ta'ala*, karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Alat Praktikum Hukum Boyle Sederhana untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Fisika di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan 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 FKIP Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Undang Rosidin, M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA.
4. Ibu Dr. Viyanti, M.Pd., selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika.
5. Ibu Dr. Kartini Herlina, M.Si., selaku Pembimbing Akademik sekaligus Pembimbing I atas kesediaan dan keikhlasannya dalam membimbing, serta memberikan arahan dan motivasi selama penulis menempuh perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi ini.

6. Ibu Anggreini, S.Pd., M.Pd. selaku Pembimbing II atas kesediaan dan keikhlasannya dalam membimbing, serta memberikan arahan dan motivasi selama penulis menempuh perkuliahan maupun dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Prof. Dr. Abdurrahman, M.Si., selaku dosen pembahas sekaligus validator yang telah dengan senang hati memberikan banyak masukan dan saran perbaikan selama penyusunan skripsi ini.
8. Bapak Wayan Suana, S.Pd., M.Si., Bapak Agus Riawan, S.Pd., M.Pd., dan Bapak Ahmad Naufal Umam, S.Pd., M.Pd. selaku validator produk yang telah memberikan banyak saran dan masukan terkait produk yang penulis kembangkan.
9. Bapak dan Ibu dosen, serta staff Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Lampung yang telah membantu dan membimbing penulis selama perkuliahan di Universitas Lampung.
10. Kepada semua pihak yang telah membantu perjuangan terselesaikannya skripsi ini.

Penulis berdoa semoga semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala dari Allah SWT dan semoga skripsi ini bermanfaat untuk kita semua. Aamiin.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN.....	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kerangka Teori	6
2.1.1 Alat Praktikum sebagai Media Pembelajaran	6
2.1.2 Keterampilan Proses Sains	9
2.1.3 Hukum Boyle	14
2.1.4 Teori Belajar Behavioristik	15
2.1.5 Hands-on Experiments	16
2.1.6 Procedural Knowledge	19
2.1.7 Minds-on Activity	20
2.1.8 Mikrokontroler ESP-32.....	22
2.1.9 BMP 280	23
2.1.10 Internet of Things	24
2.1.11 Blynk	25
2.2 Penelitian Relevan	26
2.3 Kerangka Pemikiran.....	28
2.4 Model Hipotetik Rangkaian Alat Praktikum	32
III. METODE PENELITIAN	35
3.1 Desain Penelitian Pengembangan	35
3.2 Prosedur Penelitian Pengembangan	36
3.2.1 Analisis (Analisis).....	38
3.2.2 Design (Desain)	38

3.2.3 Development (Pengembangan).....	39
3.2.4 Evaluation (Evaluasi).....	39
3.3 Instrumen Penelitian	40
3.3.1 Angket Analisis Kebutuhan	40
3.3.2 Angket Uji Validitas	40
3.3.3 Angket Persepsi Guru	41
3.3.4 Angket Respon Peserta Didik	41
3.3.5 Lembar Analisa Keterampilan Proses Sains	42
3.4 Teknik Analisis Data.....	43
3.4.1 Analisis Data Uji Validitas	43
3.4.2 Analisis Data Persepsi Guru, Respon Peserta Didik, Analisa Keterampilan Proses Sains	44
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Hasil	45
4.1.1 Produk	45
4.1.2 Hasil Kalibrasi Sensor BMP280	47
4.1.3 Hasil Uji Empiris	49
4.1.4 Hasil Uji Validitas.....	50
4.1.5 Hasil Kepraktisan.....	52
4.2 Pembahasan.....	54
V. SIMPULAN DAN SARAN.....	69
5.1 Simpulan	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Indikator Keterampilan Proses Sains	12
2. Penelitian Relevan.....	26
3. Skala Likert pada Angket Uji Validitas	41
4. Aspek dan Sistem Penskoran Angket Persepsi Guru.....	41
5. Aspek dan Sistem Penskoran Angket Respon Peserta Didik.....	42
6. Skala Likert pada Lembar Analisis Keterampilan Proses Sains (KPS)	43
7. Konversi Skor Penilaian Uji Validitas	44
8. Konversi Skor Data Kepraktisan.....	44
9. Nilai Yang Diperoleh pada Saat Kalibrasi	48
10. Hasil Uji Empiris	49
11. Hasil Uji Validitas.....	50
12. Saran Perbaikan dari Validator	51
13. Hasil Persepsi Guru.....	52
14. Hasil Respon Peserta Didik.....	53
15. Hasil Analisa Keterampilan Proses Sains	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Metodologi Pembelajaran.	17
2. Mikrokontroler ESP-32.	23
3. Sensor BMP 280.	24
4. Aplikasi Blynk yang Diakses Melalui Smartphone.	25
5. Blynk yang diakses melalui laptop via web.	25
6. Kerangka Pemikiran.	31
7. Desain Piston dan Air Chamber (Penampung Udara).	32
8. Desain Kerangka.	33
9. Desain Rangkaian Elektronika.	33
10. Prosedur Penelitian Pengembangan.	37
11. Desain Alat Praktikum.	39
12. Realisasi Alat Praktikum.	45
13. Rangkaian Elektronika.	47
14. Persamaan Regresi dan Multiple R2.	49
15. Proses Kalibrasi.	56
16. Hasil Percobaan Volume 146 cc Menghasilkan Tekanan 2 kPa.	57
17. Hasil Percobaan Volume 142 cc Menghasilkan Tekanan 4 kPa.	57
18. Hasil Percobaan Volume 136 cc Menghasilkan Tekanan 8 kPa.	57
19. Hasil Percobaan Volume 126 cc Menghasilkan Tekanan 16 kPa.	58
20. Hasil Percobaan Volume 112 cc Menghasilkan Tekanan 32 kPa.	58
21. Grafik Hubungan Nilai Tekanan dan Volume Hasil Uji Coba Mandiri.	59
22. Grafik Hubungan Tekanan dan Volume yang Ideal.	59
23. Peserta Didik Mengamati Fenomena Hukum Boyle.	63
24. Peserta Didik Bekerja Sama dalam Melakukan Percobaan.	64
25. Peserta Didik Menyajikan Data dalam Bentuk Grafik.	65

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada abad 21 telah mempengaruhi setiap bidang kehidupan. Salah satunya dalam bidang pendidikan, yang kegiatan utamanya adalah pembelajaran. Pembelajaran yang diterapkan pada abad 21 tidak hanya mengandalkan pengetahuan tetapi keterampilan juga ikut berperan. Peserta didik dituntut untuk memahami keterampilan yang harus dimiliki dalam pembelajaran abad 21 atau yang biasa dikenal dengan keterampilan 4C (Mardhiyah dkk., 2021). Keterampilan 4C terdiri dari *critical thinking* (berpikir kritis), *communication* (komunikasi), *collaboration* (kolaborasi), dan *creativity* (kreatifitas). Selain itu, pembelajaran abad 21 memberikan ruang kepada peserta didik untuk terlibat aktif di dalam pembelajaran. Hal ini memperlihatkan bahwa pada pembelajaran abad 21 mengalami perubahan pendekatan pembelajaran dari pembelajaran yang berpusat pada pendidik ke pembelajaran yang berpusat pada peserta didik (Redhana, 2019).

Salah satu pembelajaran yang berpusat pada peserta didik adalah pembelajaran yang melatih keterampilan proses sains di dalamnya. Keterampilan proses sains merupakan pendekatan pembelajaran yang dirancang agar peserta didik mampu menemukan fakta-fakta, membangun konsep, dan teori pembelajaran yang diterima (Nurtang dkk., 2019). Keterampilan ini diperlukan untuk memperoleh, mengembangkan dan menerapkan konsep-konsep, prinsip hukum, dan teori-teori sains (Amnie dkk., 2014). Keterampilan proses sains pada literasi pendidikan sains

mengacu pada beberapa tindakan seperti mengobservasi, mengkomunikasi, mengklasifikasi, menginferensi, dan mengukur (Wijaya *et al.*, 2022).

Pembelajaran fisika banyak mempelajari konsep tentang fenomena dalam kehidupan sehari-hari. Melalui pembelajaran yang mengaitkan fenomena-fenomena tersebut dapat dikembangkan kemampuan berpikir ilmiah pada peserta didik. Salah satu fenomena yang dapat dipelajari yaitu fenomena mengenai penerapan hukum Boyle.

Hasil penelitian pendahuluan yang dilakukan peneliti kepada 50 peserta didik dari Sekolah Menengah Atas yang berbeda yaitu SMAN 16 Bandar Lampung, SMAN 1 Gedong Tataan, SMAN 2 Gedong Tataan, SMAN 1 Natar, SMAN 2 Tegineneng, SMAN 5 Bandar Lampung, SMAN 7 Bandar Lampung, SMAN 13 Bandar Lampung, SMA Muhammadiyah Pamijahan, dan SMA Al-Kautsar Bandar Lampung diperoleh 74% peserta didik kesulitan dalam memahami konsep hukum Boyle. Kesulitan ini dikarenakan konsep hukum Boyle bersifat abstrak, peserta didik sulit memperoleh ilustrasi mengenai konsep hukum Boyle, dan tidak adanya pengalaman belajar langsung. Sebanyak 60% peserta didik tidak pernah melakukan praktikum dalam pembelajaran konsep hukum Boyle. Peserta didik memperoleh penjelasan materi dari guru melalui ceramah, diskusi, tanya jawab, dan latihan soal. Mereka berpendapat bahwa pembelajaran konsep hukum Boyle akan memperoleh pemahaman yang lebih optimal apabila dilakukan kegiatan praktikum.

Angket` analisis kebutuhan juga ditujukan kepada guru. Dalam hal ini sebanyak sepuluh orang guru diambil sebagai responden dari sekolah yang sama seperti analisis kebutuhan peserta didik. Dari hasil angket analisis kebutuhan guru diperoleh bahwa 60% guru tidak membelajarkan konsep hukum Boyle melalui praktikum. Hal tersebut dikarenakan ketidaktersediaan alat praktikum. Oleh karenanya dalam menyampaikan materi, biasanya guru selain menjelaskan di papan tulis juga dibantu dengan menggunakan media

tambahan seperti penggunaan *powerpoint* dan video pembelajaran.

Keterampilan proses sains peserta didik belum terlatih secara optimal karena waktu pembelajaran yang terbatas sementara materi fisika yang akan diajarkan cukup banyak.

Penelitian yang dilakukan oleh Wahyuni dkk. (2020) mengungkapkan bahwa salah satu yang menyebabkan rendahnya keterampilan proses sains adalah karena kurangnya pelaksanaan kegiatan praktikum. Yang mana melalui kegiatan praktikum peserta didik dapat mempelajari hal-hal baru dengan melakukan praktik secara langsung berdasarkan materi yang diperoleh (Rahma dkk., 2023). Dalam praktikum, untuk melatih keterampilan proses seperti mengamati, bertanya, merumuskan masalah dan hipotesis, interpretasi data, menarik kesimpulan, dan berkomunikasi maka digunakan alat praktikum (Nur, 2011). Dengan demikian, alat praktikum cukup penting keberadaannya untuk melatih keterampilan proses sains dalam praktikum.

Berdasarkan uraian tersebut, pengembangan alat praktikum hukum Boyle sederhana dapat membantu melatih keterampilan proses sains dalam pembelajaran konsep hukum Boyle. Ketidakterediaan alat praktikum dalam menunjang proses pembelajaran konsep hukum Boyle inilah yang menjadi dasar utama dilakukannya penelitian “Pengembangan Alat Praktikum Hukum Boyle Sederhana untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian pengembangan ini yaitu :

1. Bagaimana alat praktikum hukum Boyle sederhana yang valid untuk melatih keterampilan proses sains?
2. Bagaimana alat praktikum hukum Boyle sederhana yang praktis untuk melatih keterampilan proses sains?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mendeskripsikan alat praktikum hukum Boyle sederhana yang valid untuk melatih keterampilan proses sains.
2. Mendeskripsikan alat praktikum hukum Boyle sederhana yang praktis untuk melatih keterampilan proses sains.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian pengembangan ini yaitu :

1. Menghasilkan alat praktikum hukum Boyle sederhana sebagai media pembelajaran untuk melatih keterampilan proses sains.
2. Memberikan solusi dalam mencapai tujuan pembelajaran konsep hukum Boyle.
3. Memberikan solusi dalam melakukan percobaan hukum Boyle secara langsung, serta proses penganalisan 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 enam dari sepuluh indikator keterampilan proses sains menurut Chiappetta & Koballa (2002) yaitu *observing, controlling variables, hypothesizing, experimentation, communicating*, dan *data interpreting*.
2. Penelitian pengembangan ini menggunakan pendekatan *Design and Development Research* (DDR) yang diadaptasi dari Richey & Klein (2007), terdiri atas empat tahapan yaitu *analysis, design, development*, dan *evaluation*.

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 direpresentasikan melalui :
 - a. Persepsi guru, diperoleh melalui angket persepsi guru yang diadaptasi dari Festiana *et al.* (2019) dengan beberapa aspek penilaian yaitu *usefulness, ease to use, ease of learning*, dan *satisfaction*.
 - b. Respon peserta didik, diperoleh melalui angket respon peserta didik yang diadaptasi dari Putriani *et al.* (2022) yaitu kemudahan, motivasi, kemenarikan, dan kebermanfaatan.
 - c. Analisa keterampilan proses sains, dilakukan dengan menggunakan lembar instrumen analisa keterampilan proses sains melalui aspek penilaian yang berorientasi pada enam indikator keterampilan proses sains yang diadaptasi dari Chiappetta & Koballa (2002).
5. Sistem hukum Boyle dalam alat praktikum yang dikembangkan pada penelitian pengembangan ini meliputi udara di dalam tabung piston, selang, dan penampung udara (*air chamber*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerangka Teori

2.1.1 Alat Praktikum sebagai Media Pembelajaran

Media berasal dari bahasa Latin yaitu *medium* atau perantara. Istilah tersebut secara luas dapat didefinisikan sebagai sebuah perantara informasi dari sumber kepada penerima (Smaldino *et al.*, 2011). Media pembelajaran adalah alat yang dapat berfungsi sebagai perantara untuk menyampaikan pesan-pesan pembelajaran, yang tujuannya sebagai alat bantu untuk mempermudah proses pembelajaran, meningkatkan efisiensi pembelajaran, serta membantu konsentrasi peserta didik di kelas (Astuti dkk., 2017).

Media pembelajaran merupakan media yang digunakan untuk membantu merangsang pikiran, perasaan, kemampuan dan perhatian peserta didik dalam proses belajar mengajar di kelas (Kumala dkk., 2020). Hal ini yang kemudian membuat media pembelajaran memiliki peranan yang cukup penting. Menurut Hasan dkk. (2021), peranan media dalam proses pembelajaran yaitu sebagai berikut:

1. Alat untuk memperjelas bahan pembelajaran pada saat pendidik menyampaikan pelajaran. Dalam hal ini media yang digunakan pendidik sebagai alat penjelasan verbal mengenai bahan pembelajaran.
2. Alat untuk mengangkat atau menimbulkan persoalan yang akan dikaji lebih lanjut oleh para peserta didik dalam proses belajarnya.

3. Sumber belajar bagi peserta didik yang artinya media tersebut berisikan bahan-bahan yang harus dipelajari baik secara individual maupun kelompok.

Melihat peranannya yang cukup penting maka sangat dimungkinkan penggunaannya dalam proses pembelajaran. Penggunaan media ini bertujuan agar dalam berkomunikasi antara guru dan peserta didik pada proses pembelajaran semakin mudah. Salah satu media pembelajaran yang dapat digunakan yaitu alat praktikum.

Alat praktikum adalah suatu alat yang dapat diserap oleh mata dan telinga dengan tujuan membantu pendidik agar proses pembelajaran lebih efektif dan efisien (Sudjana, 2017). Penggunaan alat praktikum dalam proses pembelajaran sains dapat mempermudah peserta didik memahami konsep sains (Arsyad, 2011)

Alat praktikum adalah media penunjang dalam proses pembelajaran serta sebagai alat atau benda yang diperlukan dalam berjalannya suatu pembelajaran untuk menerapkan materi pembelajaran. Penggunaan alat praktikum dapat meningkatkan efektivitas belajar dengan melibatkan berbagai indera seperti melihat, mendengar, mencium, dan menggunakan logikanya untuk mengolah pengetahuan (Maharani dkk., 2017). Alat praktikum juga diharapkan mampu menumbuhkan daya imajinasi dan dapat membandingkan dengan benda-benda yang ada dalam kehidupan sehari-hari, dan juga mampu menganalisis karakteristik benda yang ditemukannya (Suwardi dkk., 2014).

Penggunaan alat praktikum dalam proses pembelajaran IPA khususnya fisika akan mempermudah peserta didik dalam memahami materi pembelajaran, yang mana konsep-konsep fisika sebagian besar bersifat abstrak. Dengan menggunakan alat praktikum, konsep-konsep yang bersifat abstrak tersebut dapat diaplikasikan sehingga peserta didik dapat melihat fenomena yang lebih jelas dan mudah dipahami.

Alat praktikum memiliki peran yang penting pada pembelajaran, sebagai penjelasan konsep, maka peserta didik memperoleh kemudahan untuk mempelajari aspek-aspek yang disampaikan oleh guru, serta menguatkan penugasan tentang materi yang memiliki hubungan dengan alat praktikum dari materi yang dipelajari serta untuk menambah keterampilan peserta didik. Pemilihan media atau alat praktikum merupakan suatu hal yang perlu dipikirkan dengan baik dimana dapat dilihat dari segi biaya serta ketersediaan sumber dan tempat (Fitriah dkk., 2023). Apabila biaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan alat praktikum cukup tinggi dan ketersediaannya sulit didapatkan di pasaran, tentunya ini akan mendorong guru untuk mencari pilihan lain. Salah satu pilihan yang dapat diambil oleh guru yaitu dengan membuat alat praktikum sederhana dengan memanfaatkan bahan-bahan yang murah dan mudah didapat. Alat praktikum harus dibuat sebaik mungkin, simpel, menarik untuk diamati, dan mendorong peserta didik agar timbul rasa penasaran sehingga diharapkan motivasi belajar peserta didik semakin meningkat. Alat praktikum sederhana sebaiknya terbuat dari benda-benda atau bahan-bahan bekas pakai, serta yang mudah didapatkan sehingga tidak mengeluarkan biaya yang relatif besar (Suprayanti *et al.*, 2016).

Menurut Vollmer & Möllmann (2012), beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan dalam mempersiapkan alat praktikum sederhana adalah sebagai berikut.

1. Bahan yang digunakan banyak tersedia, mudah diperoleh, dan berharga relatif murah.
2. Persiapannya sederhana (tidak rumit).
3. Penggunaannya tidak memerlukan waktu yang lama.
4. Hendaknya penggunaannya dapat menciptakan perasaan seperti antusias, dan kejutan pada peserta didik

Pada penelitian ini penggunaan alat praktikum dimaksudkan sebagai sarana pembantu guru dalam menjelaskan konsep hukum Boyle kepada peserta didik. Guru dapat memaksimalkan penggunaan alat praktikum dalam pembelajaran, agar peserta didik dapat membangun pengetahuannya melalui pengalaman secara langsung. Dalam penggunaannya, alat praktikum mampu mendukung guru dalam melatih keterampilan proses sains peserta didik (Dewantara *et al.*, 2019).

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa alat praktikum hukum Boyle sederhana. Alat praktikum ini dibuat menggunakan bahan-bahan sederhana yang murah dan mudah ditemukan di pasaran. Dalam penggunaannya, alat praktikum ini dapat memvisualisasikan fenomena hukum Boyle melalui dua besaran fisis yaitu tekanan dan volume. Besaran tekanan dapat diukur dengan menggunakan sensor BMP280 yang dibantu oleh mikrokontroler ESP32 untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke *platform blynk*. Data tekanan yang dikirimkan ke *platform blynk* dapat diakses dan dilihat melalui laptop ataupun *smartphone*. Sementara itu, untuk besaran volume dilakukan pengukuran secara manual. Hal ini dikarenakan tidak tersedianya sensor volume di pasaran. Pengukuran dilakukan dengan memperhatikan perubahan posisi piston melalui skala yang ada di tabung piston. Data tekanan dan volume yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan *microsoft excel* dan divisualisasikan dalam bentuk grafik.

2.1.2 Keterampilan Proses Sains

Keterampilan proses sains adalah perilaku yang mendorong pembentukan keterampilan yang diterapkan untuk memperoleh pengetahuan dan kemudian menyebarkan apa yang telah diperoleh sehingga meningkatkan keterampilan mental dan psikomotorik secara optimal (Turiman *et al.*, 2012). Gagne (1965) membagi keterampilan

proses sains 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 menentukan variabel dan merumuskan hipotesis. Penggunaan keterampilan proses sains terpadu yang baik dan efektif menurutnya ditentukan dengan penguasaan keterampilan proses sains dasar sebelumnya.

Beaumont-Walters & Soyibo (2001) menjelaskan bahwa keterampilan proses sains dasar memberikan landasan intelektual dalam sains seperti memberikan gambaran tentang benda yang sedang diamati. 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.

Saat ini kurikulum 2013 telah terintegrasi dengan pendidikan abad 21, yang mana di dalamnya terdapat pendekatan saintifik (Bancong & Putra, 2015). Pendekatan saintifik tersebut lebih dikenal dengan pendekatan 5 M, yaitu mengamati, menanyakan, mengumpulkan data, mengasosiasi, serta mengkomunikasikan (Wahyuni *et al.*, 2020). Sejalan dengan anggapan Lestari & Suliyanah (2014), bahwa keterampilan proses sains meliputi bertanya, mengamati, memprediksi, dan mensimulasi. 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 di dalamnya 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).

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 ini 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.

Chiappetta & Koballa (2002) mengungkapkan bahwa, indikator keterampilan proses sains 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 indra 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

Indikator KPS	Metode
	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

(Chiappetta & Koballa, 2002)

Keterampilan proses sains dapat membantu peserta didik dalam mencapai kemampuan berpikir tingkat tinggi, serta memberikan pengalaman belajar yang bermakna (Tilakaratne & Ekanayake, 2017). 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).

Keterampilan proses sains bukan keterampilan bawaan yang dimiliki oleh peserta didik sehingga perlu dilatihkan melalui proses pembelajaran (Khaeriyah dkk., 2022). Oleh karenanya keterampilan ini dapat dilatihkan dengan kegiatan berbasis ilmiah salah satunya yaitu melalui kegiatan praktikum (Putri dkk., 2022). Untuk melakukan kegiatan praktikum tentunya dibutuhkan alat praktikum (Satria & Devi, 2023).

Dalam penelitian pengembangan ini, peneliti mengembangkan produk berupa alat praktikum yang dapat membantu guru dalam proses pembelajaran khususnya melatih keterampilan proses sains peserta didik serta menunjang kegiatan praktikum di sekolah. Alat praktikum yang dimaksud yaitu alat praktikum hukum Boyle sederhana. Sebagai

tolak ukur dalam melatih keterampilan proses sains maka peneliti memilih enam dari sepuluh indikator keterampilan proses sains yang diadaptasi dari Chiapetta & Koballa (2002). Enam indikator tersebut diantaranya *observing, controlling variables, hypothesizing, experiment, communicating*, dan *data interpreting*. Pemilihan enam indikator tersebut dilakukan berdasarkan kesesuaian indikator keterampilan proses sains dengan desain dan percobaan yang dilaksanakan.

2.1.3 Hukum Boyle

Termodinamika menjadi salah satu disiplin ilmu fisika yang paling sulit dan abstrak dalam pembelajaran fisika (Dukhan, 2015). Dalam termodinamika, ada banyak hukum dan salah satu yang krusial adalah Hukum Boyle. Dalam memahami materi termodinamika pada umumnya dan konsep hukum Boyle khususnya, peserta didik mengalami kesulitan dalam mengintegrasikan konsep dan prinsip serta mengenali relevansinya dalam memecahkan masalah (Mohd Sharif *et al.*, 2021).

Hukum Boyle pertama kali ditemukan oleh Robert Boyle (1627-1691) ahli fisika berkebangsaan Inggris yang menyelidiki hubungan antara tekanan gas dengan volume wadahnya. Hukum tersebut berbunyi “Volume suatu gas berbanding terbalik dengan tekanan yang diterimanya, pada suhu konstan” (Young & Freedman, 2002). Secara matematis, dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$P \propto \frac{1}{V} \text{ atau } PV = \text{konstan}$$

Persamaan di atas juga dapat dinyatakan dengan

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Keterangan :

P_1 = tekanan gas pada keadaan 1 (N/m^2)

P_2 = tekanan gas pada keadaan 2 (N/m^2)

V_1 = volume gas pada keadaan 1 (m^3)

V_2 = volume gas pada keadaan 2 (m^3)

(Tipler, 1991)

2.1.4 Teori Belajar Behavioristik

Teori behavioristik merupakan teori yang mempelajari perilaku manusia. Pada teori belajar behavioristik ini menjelaskan bahwa belajar merupakan perubahan tingkah laku yang muncul sebagai akibat adanya stimulus dan akan menimbulkan tanggapan (respon). Stimulus merupakan hal yang berasal dari lingkungan belajar internal maupun eksternal yang menjadi pemicu proses belajar. Stimulus dapat berupa niat atau keinginan, motivasi, penggunaan media, pujian, pemberian hadiah, hukuman dan lain-lain. Watson (1913) percaya bahwa tingkah laku manusia merupakan hasil dari pengaruh lingkungan dan pewarisan genetik. Lingkungan menjadi faktor yang mempengaruhi dalam perubahan perilaku. Hal terpenting pada proses belajar adalah adanya stimulus sebagai input dan respon sebagai output (Mursyidi, 2019). Respon tersebut yang akan menjadikan perubahan perilaku seseorang. Apabila seseorang diberikan stimulus yang tepat maka tingkah laku atau respon individu akan dapat dikontrol.

Melalui penerapan teori behavioristik hasil yang ingin didapatkan adalah terbentuk perilaku yang diharapkan seperti rajin dalam pengerjaan tugas, aktif dalam pembelajaran dan lain-lain. Selain itu teori ini juga biasa disebut sebagai teori pembelajaran berbasis perilaku yang berasal dari pengkondisian lingkungan. Pengkondisian lingkungan terjadi melalui interaksi dengan lingkungan dalam hal pembelajaran dapat dengan guru maupun siswa lainnya. Pada teori belajar behavioristik ini hasil belajar dapat dilihat melalui perbaikan sikap yang diobservasi dan dinilai. Menurut Shahbana dkk. (2020) hal-hal yang

perlu diperhatikan pada penerapan teori behavioristik dalam proses pembelajaran sebagai berikut.

1. Memperhatikan adanya pengaruh lingkungan.
2. Mengutamakan dan memperhatikan kemampuan yang dimiliki dan terbentuk saat sebelumnya.
3. Mengutamakan mekanisme yang membentuk hasil belajar melalui mekanisme stimulus-respon (S-R).
4. Hasil belajar yang sudah dicapai diwujudkan dalam bentuk perilaku-perilaku yang diharapkan.
5. Mengutamakan penciptaan kebiasaan perilaku dengan banyak berlatih dan mengulang-ulang.

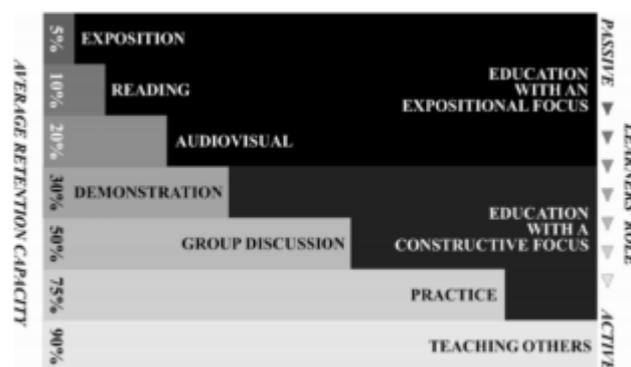
Dengan demikian, teori belajar behavioristik merupakan teori belajar yang mengacu pada proses pembelajaran yang memperhatikan tingkah laku peserta didik setelah diberi stimulus. Berkaitan dengan hal tersebut, pada penelitian ini dikembangkan alat praktikum hukum Boyle sederhana untuk melatih keterampilan proses sains peserta didik pada pembelajaran konsep hukum Boyle. Keterampilan proses sains dalam penelitian ini dilatihkan melalui kegiatan eksperimen dengan alat praktikum yang digunakan untuk menstimulus keaktifan peserta didik.

2.1.5 *Hands-on Experiments*

Hands-on experiments merupakan proses pembelajaran aktif yang berpusat pada peserta didik yang mendorong mereka untuk menemukan dan mengembangkan suatu konsep atau ide baru disertai dengan memacu pikiran agar lebih kreatif dan kritis, serta memotivasi peserta didik untuk melakukan tindakan lebih lanjut seperti mempelajari kembali dan melakukan kegiatan eksperimen mandiri di rumah (Dhanapal & Shan, 2014). *Hands-on experiments* memiliki keuntungan secara langsung yaitu guru dan peserta didik dapat

melakukan kegiatan eksperimen dengan hanya memerlukan sedikit persiapan. Hal ini dikarenakan benda-benda yang digunakan dalam kegiatan *hands-on experiments* mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Berbeda dengan kegiatan eksperimen biasa yang sering kali memiliki prosedur yang lebih rumit, sehingga peserta didik tidak dapat memahami materi secara langsung (Vollmer & Möllmann, 2012).

Terdapat dua cara utama untuk melakukan eksperimen dalam proses pembelajaran, cara pertama dilakukan oleh guru (kegiatan pasif untuk peserta didik), dan cara kedua adalah eksperimen yang dilakukan oleh peserta didik itu sendiri (keterlibatan aktif). Dari kedua cara tersebut, keterlibatan aktif yang memegang peranan lebih besar pada peserta didik (Snětinová *et al.*, 2018). Pemahaman materi fisika dapat ditingkatkan melalui pendekatan aktif/kooperatif/kolaboratif, dimana peserta didik terlibat dalam berbagai kegiatan pembelajaran yang dipimpin oleh guru sebagai tutor atau pembimbing. Strategi yang dapat memungkinkan proses tersebut berhasil yaitu menggunakan interaksi, eksperimen, dan demonstrasi (Dorrio *et al.*, 2011).



Gambar 1. Metodologi Pembelajaran.

Hands-on experiments akan lebih jelas jika dihubungkan dengan *hands-on activities*. *Hands on activity* adalah suatu kegiatan yang dirancang untuk melibatkan peserta didik dalam menggali informasi dan bertanya, beraktivitas dan menemukan, mengumpulkan data dan menganalisis

serta membuat kesimpulan sendiri (Kartono, 2010). Hal tersebut berbeda dengan pembelajaran secara konvensional dimana guru memiliki peran utama dalam menyampaikan konten pembelajaran.

Melalui *hands on activity* akan terbentuk suatu penghayatan dan pengalaman untuk menetapkan suatu pengertian (penghayatan) karena mampu membelajarkan secara bersama-sama kemampuan psikomotorik (keterampilan), pengertian (pengetahuan) dan afektif (sikap) yang biasanya menggunakan sarana laboratorium dan atau sejenisnya. Selain itu, *hands on activity* juga dapat memberikan penghayatan secara mendalam terhadap apa yang dipelajari, sehingga apa yang diperoleh oleh peserta didik tidak mudah dilupakan. Pada *hands on activity* peserta didik akan memperoleh pengetahuan tersebut secara langsung melalui pengalaman sendiri.

Hands-on activities adalah belajar dengan perbuatan, yang memungkinkan anak agar berpikir kritis dalam belajar. 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*.

Hands-on experiment merupakan pembelajaran aktif pada peserta didik melalui keterlibatan secara langsung dalam proses pembelajaran, misalnya eksperimen yang dipandu oleh guru sebagai pembimbing.

Pembelajaran dengan *hands-on experiment* dianggap dapat memacu pikiran peserta didik agar lebih kreatif, kritis, dan mampu memahami konsep dengan baik. *Hands-on experiment* sendiri tidak akan terlepas dengan *hands-on activity*, hal tersebut disebabkan *hands-on activity* tidak lain merupakan aktivitas di dalam *hands-on experiment*. Jika peserta didik melakukan *hands-on experiment*, maka secara tidak langsung mereka juga melakukan *hands-on activity*. *Hands-on activity* didefinisikan sebagai belajar dengan perbuatan, dalam hal ini perbuatan tersebut diantaranya adalah kegiatan eksperimen. Jika dikaitkan dengan desain dan rancangan percobaan menggunakan alat praktikum hukum Boyle yang akan dikembangkan, maka kegiatan *hands-on experiment* maupun *hands-on activity* ada pada saat peserta didik menggunakan hukum Boyle ini untuk melakukan percobaan dalam kegiatan pembelajaran.

2.1.6 Procedural Knowledge

Pembelajaran fisika tidak terlepas dari keterampilan yang harus dimiliki untuk mendukungnya. Untuk itu diperlukan proses yang dapat mengembangkan keterampilan yang mendukung pembelajaran fisika. Salah satu proses yang dapat dilakukan yaitu dengan kegiatan praktikum atau eksperimen (Maison *et al.*, 2019). Kegiatan praktikum atau eksperimen tentu perlu didukung dengan pengetahuan terkait dengan langkah-langkah atau metode eksperimen yang tepat disertai dengan pemahaman tentang konsep-konsep fisika yang sesuai. Dalam pembelajaran fisika, pengetahuan yang berkaitan dengan eksperimen fisika diklasifikasikan sebagai *technical knowledge* (pengetahuan teknis) atau *procedural knowledge* (pengetahuan prosedural). *Procedural knowledge* atau pengetahuan prosedural dipahami sebagai pengetahuan implisit atau eksplisit, aturan, dan urutan tindakan (Star & Newton, 2009), yang menjadi dasar kemampuan untuk bertindak (*action competence*) dan juga digunakan untuk memecahkan masalah.

Dengan demikian, peserta didik diharapkan dapat mengetahui semua proses dari awal hingga akhir kegiatan praktikum atau eksperimen sehingga peserta didik memiliki keterampilan dalam melakukan kegiatan.

Procedural knowledge mencerminkan kemampuan melakukan prosedur untuk menerapkan aturan-aturan tertentu yang berkaitan dengan suatu konsep (Anderson & Krathwohl, 2001). Kemampuan ini diperlukan dalam penyelesaian masalah yang terdiri atas beberapa tahapan jawaban atau berupa uraian langkah-langkah. Peserta didik diberikan permasalahan yang memerlukan kombinasi dari beberapa konsep agar dapat menunjukkan kemampuan penyusunan solusi (Bintang dkk., 2020). *Procedural knowledge* erat kaitannya dengan keterampilan proses sains yang menunjang peserta didik menjadi lebih baik dalam kegiatan percobaan di laboratorium. Hal ini dapat dilihat pada saat peserta didik melakukan percobaan dalam pembelajaran. Peserta didik yang berperan aktif dalam pembelajaran memiliki *procedural knowledge* yang lebih baik

2.1.7 *Minds-on Activity*

Berbeda dengan *hands-on activity* yang merupakan belajar melalui kegiatan yang melibatkan aktivitas fisik (psikomotorik), *minds-on activity* pada proses pembelajaran lebih dikenal dengan kegiatan berpikir (kognitif). *Minds-on activity* berfokus pada perkembangan penalaran, membangun model, dan kemampuan untuk mengaitkan permasalahan dalam pembelajaran dengan kejadian nyata misalnya fenomena di alam sekitar (Siswati dkk., 2012). Selama terdapat kegiatan eksperimen dalam pembelajaran, maka peserta didik secara otomatis juga melakukan aktivitas psikis (*minds-on activity*). *Minds-on activity* merupakan kegiatan yang memungkinkan peserta didik dalam mengembangkan kemampuan berpikir mereka agar dapat bertanya dan

mencari jawaban yang sifatnya meningkatkan pengetahuan (Diniarti & Dwiningsih, 2015).

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 & Dwiningsih, 2014). Pembelajaran yang hanya mengandalkan *hands-on* saja dengan mengesampingkan *minds-on* masih belum cukup dalam meningkatkan kemampuan peserta didik (Ulum dkk., 2019).

Pembelajaran aktif yang dikolaborasikan dengan aktivitas *minds-on* akan lebih baik dibandingkan dengan pembelajaran dengan metode ceramah sekalipun telah dimodifikasi. Hal ini dikarenakan pembelajaran dengan menghiraukan aktivitas *minds-on* akan membangun keingintahuan peserta didik secara alami. Rasa keingintahuan akan materi pembelajaran itu yang kemudian dapat dijadikan poros dalam kegiatan pembelajaran (Salami, 2014). Pencapaian tujuan pembelajaran pada pembelajaran sains dapat ditingkatkan dengan menghubungkan aktivitas kognitif (*minds-on*), dan psikomotor (*hands-on*). Guru yang memadukan pembelajaran yang aktif dengan kedua aktivitas tersebut akan menghasilkan peserta didik dengan prestasi yang lebih tinggi dibandingkan mereka yang tidak melakukan kegiatan tersebut (Acharya, 2018).

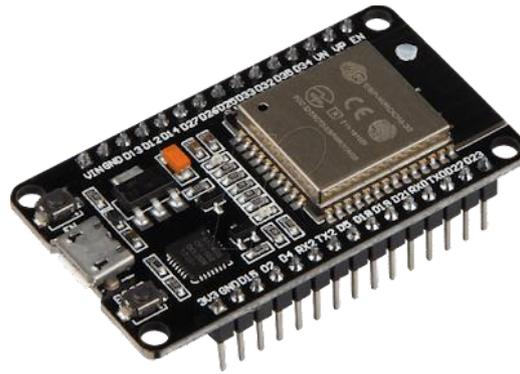
Minds-on activity merupakan aspek yang melengkapi aktivitas *hands-on*. Keterkaitan keduanya dalam proses pembelajaran khususnya pada pembelajaran yang aktif akan membantu meningkatkan pemahaman peserta didik agar lebih baik. Hal tersebut dikarenakan peserta didik tidak hanya menggunakan pikiran dalam 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 akan dikembangkan. Namun yang membedakannya dengan *hands-on experiment* dan *hands-on activity* adalah substansinya yang lebih luas. Pada *hands-on experiment* dan *hands-on 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 & Dwiningsih (2015), bahwa selama terdapat kegiatan eksperimen dalam pembelajaran, maka peserta didik secara otomatis juga melakukan aktivitas psikis (*minds-on activity*).

2.1.8 Mikrokontroler ESP-32

ESP 32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* dan merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul WiFi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things* (Muliadi *et al.*, 2020). Keunggulan dari mikrokontroler ESP32 jika dibandingkan dengan ESP8266 antara lain, ESP32 menggunakan NodeMCU Xtensa Dual Core 32-bit LX6 dengan 600 dhrystone million instructions per second (DMIPS) sedangkan untuk ESP8266 masih menggunakan NodeMCU Xtensa Single-core dengan 32-bit L106. Jika dilihat dari sisi Bluetooth dan Wi-Fi. ESP32 telah terintegrasi secara *System on Chip*, sedangkan ESP8266 masih terpisah, yang artinya bahwa dari sisi alat yang dibutuhkan ESP32 lebih unggul jika dibandingkan ESP8266 di mana ESP8266 membutuhkan beberapa perangkat lain untuk ESP8266 yang hanya memiliki pin GPIO sebanyak 17 pin (Setiawan & Purnamasari, 2019).



Gambar 2. Mikrokontroler ESP-32.

ESP32 Devkit V1 memiliki spesifikasi sebagai berikut yaitu memiliki jumlah pin sebanyak 30 pin yang meliputi pin tegangan dan GPIO, 15 pin ADC (*Analog Digital Converter*), 3 UART Interface, 3 SPI Interface, 2 I2C Interface, 16 pin PWM (*Pulse Width Modulation*), 2 pin DAC (*Digital Analog Converter*) (Budijanto dkk., 2021)

2.1.9 BMP 280

BMP 280 merupakan sensor yang umumnya digunakan untuk mengukur tekanan dan temperatur. Selain itu, BMP 280 juga dapat digunakan untuk mengukur ketinggian lokasi tertentu dari permukaan laut. Sensor ini memiliki dimensi yang sangat kecil serta konsumsi daya yang rendah sehingga dapat diimplementasikan dalam perangkat yang bersumber daya baterai, seperti handphone, modul GPS, atau jam tangan. Perangkat ini memiliki fleksibilitas dalam mengoptimalkan perangkat terkait konsumsi daya, resolusi, dan kinerja filter. Sensor ini memiliki akurasi pengukuran tekanan ± 1 hPa dan akurasi pengukuran temperatur sebesar $\pm 1,0$ °C (Yurika dkk., 2021)



Gambar 3. Sensor BMP 280.

BMP 280 adalah sensor tekanan barometrik dengan range 300 s/d 1100 hPa sampai dengan 2.5 hPa (1 hPa = 1 mbar) atau setara dengan +9000 sampai dengan -500 meter above/below sea level. Ketinggian di permukaan bumi berhubungan dengan tekanan udara. Semakin tinggi ketinggian maka tekanan udara akan semakin rendah. Semakin rendah ketinggian maka tekanan udara akan semakin tinggi (Hidayat & Mardiyanto, 2016).

2.1.10 *Internet of Things*

Istilah IoT (*Internet of Things*) mulai dikenal pada tahun 1999 yang saat itu diperkenalkan pertama kalinya dalam sebuah pemaparan presentasi oleh Kevin Ashton yang merupakan *cofounder and executive director of the Auto-ID Center* di MIT (Adani & Salsabil, 2019). *Internet of Things (IoT)* merupakan teknologi untuk mengendalikan, mengatur, mentransfer data dari perangkat keras (*hardware*) melalui jaringan internet. Teknologi ini memungkinkan manusia melakukan kegiatan tersebut secara otomatis (Herlina dkk., 2022). Dalam implementasinya, pada IoT terdapat konektivitas antara perangkat keras, IoT platform/IoT software, data, dan koneksi internet sebagai media komunikasi dan kontrol pada perangkat tersebut.

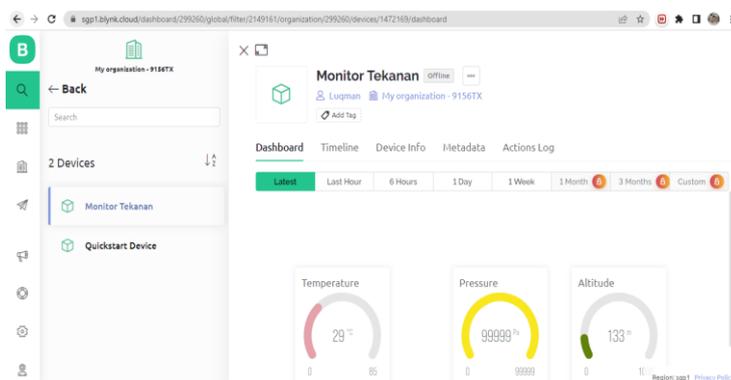
Perangkat keras pada IoT terdiri dari mikrokontroler sebagai otak, perangkat yang dikendalikan dan perangkat lain sebagai alat pengendali, misalnya komputer atau laptop.

2.1.11 *Blynk*

Blynk adalah sebuah layanan aplikasi yang digunakan untuk mengontrol mikrokontroler dari jaringan internet. Aplikasi yang disediakan oleh *Blynk* sendiri masih butuh disusun sesuai dengan kebutuhan (Prayitno dkk., 2017). Aplikasi ini dapat dijalankan pada smartphone Android maupun iPhone operating system (iOS). Selain itu platform ini juga dapat diakses dengan laptop melalui *web*. Dengan menyediakan dasbor tempat pengguna dapat membuat grafis antarmuka menggunakan widget yang berbeda.



Gambar 4. Aplikasi Blynk yang Diakses Melalui Smartphone.



Gambar 5. Blynk yang diakses melalui laptop via web.

Aplikasi ini juga dapat menyimpan dan menampilkan data sensor, serta menyediakan library untuk platform seperti Arduino, ESP8266, Raspberry pi, SparkFun, ESP32, dan lain-lain. Dalam aplikasi ini terdapat tiga komponen utama, yaitu aplikasi, server dan library. Aplikasi membantu membuat grafis antarmuka, server bertanggung jawab atas semua komunikasi antar aplikasi dan hardware, dan library memungkinkan komunikasi untuk hardware dengan server menggunakan perintah (Durani *et al.*, 2018).

2.2 Penelitian Relevan

Tabel 2 menunjukkan beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian pengembangan yang dilakukan.

Tabel 2. Penelitian Relevan

Nama Peneliti>Nama Jurnal/Judul	Metode	Hasil Penelitian/Analisis
Nofitri dkk.(2013) / Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2013 / Pembuktian Hukum Boyle pada Gas Ideal Berbantuan Data Studio Software dalam Praktikum Termodinamika	Metode yang digunakan dalam prosiding ini yaitu pembuktian hukum Boyle menggunakan alat praktikum yang ada melalui percobaan.	Pembuktian Hukum Boyle berbantuan Data Studio Software adalah benar sesuai literatur bahwa semakin besarnya tekanan maka volumenya semakin kecil karena tekanan berbanding terbalik dengan volume. Tetapi grafik yang dihasilkan belum ideal sesuai dengan grafik literturnya. Hal tersebut dikarenakan perubahan volume yang tidak begitu jelas ketika diberikan tekanan.
Kua (2020)/ Jurnal IMEDTECH / Tabung Suntik untuk Hukum	Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan	Berdasarkan percobaan yang dilakukan, dapat ditunjukkan fenomena

Nama Peneliti>Nama Jurnal/Judul	Metode	Hasil Penelitian/Analisis
Boyle, Simulasi Pengukuran Tekanan Udara dengan <i>Real World Problem</i> sebagai Alternatif Pemecahan Masalah.	menunjukkan proses dan hasil simulasi pengukuran tekanan udara menggunakan tabung suntik untuk Hukum Boyle.	pada hukum Boyle mengenai hubungan tekanan, volume, dan suhu. Penjelasan fenomena ini dapat dilakukan secara sederhana dengan prinsip pemanfaatan alat dan bahan yang terdapat di sekitar kehidupan peserta didik.
Darmaji dkk. (2018) / Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika / Deskripsi Keterampilan Proses Sains Mahasiswa pada Materi Termodinamika	Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode deskriptif. Penelitian ini menggunakan instrumen berupa lembar observasi keterampilan proses sains yang sudah divalidasi oleh validator ahli untuk mengamati keterampilan proses sains yang dimiliki mahasiswa saat melakukan praktikum.	Keterampilan proses sains dasar mahasiswa berada pada kategori baik adalah keterampilan observasi, keterampilan mengukur, dan keterampilan membuat kesimpulan sedangkan keterampilan proses sains dasar yang belum dikuasai oleh mahasiswa adalah keterampilan klasifikasi dan komunikasi. Keterampilan proses sains terintegrasi mahasiswa berada pada kategori baik adalah keterampilan membuat hipotesis, hubungan antar variabel, analisis percobaan dan merencanakan percobaan sedangkan keterampilan proses sains terintegrasi yang belum dikuasai oleh mahasiswa adalah keterampilan memperoleh dan memproses data.

Berdasarkan Tabel 2 dapat diamati bahwa masing-masing penelitian, relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh peneliti. Alat praktikum yang

dikembangkan oleh peneliti pada penelitian merupakan modifikasi dari penelitian yang telah dilakukan oleh Nofitri dkk. (2013). Pada penelitian tersebut, alat praktikum yang digunakan membutuhkan sebuah *converter* yang menghubungkan alat praktikum dengan laptop untuk mendukung proses pembacaan data yang dilakukan sensor. Selain itu, aplikasi yang digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor juga hanya dapat diakses menggunakan laptop dengan sistem operasi *Windows 7*. Kebaruan penelitian yang dilakukan oleh peneliti yang membedakan penelitian yang dilakukan oleh Nofitri dkk. (2013) yaitu penggunaan sensor tekanan sehingga tidak membutuhkan *converter* untuk membaca data hasil pengukuran sensor. Selain itu, pada penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti menggunakan *platform Blynk* yang memungkinkan pembacaan sensor diakses melalui laptop ataupun *smartphone* di semua sistem operasi yang ada.

Alat praktikum yang dikembangkan peneliti juga relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kua (2020). Alat dalam penelitian tersebut juga menggunakan bahan sederhana sebagai penyusunnya. Hanya saja alat yang dibuat menggunakan manometer analog. Keterbaruan yang dimunculkan peneliti dalam penelitian pengembangan ini yaitu mengubah penggunaan manometer pada alat praktikum dengan menggunakan sensor tekanan BMP280.

2.3 Kerangka Pemikiran

Pembelajaran abad 21 merupakan pembelajaran yang menggabungkan pengetahuan, keterampilan, sikap, serta penguasaan teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Untuk menunjang hal tersebut maka peserta didik harus memiliki kompetensi. Kompetensi yang sesuai dengan pembelajaran abad 21 yaitu kompetensi 4C, yakni *Creativity* (Kreativitas), *Communication* (Komunikasi), *Collaboration* (Kolaborasi), dan *Critical Thinking* (Berpikir Kritis). Pada pembelajaran abad 21, peserta didik dituntut untuk menguasai keterampilan abad 21 atau yang biasa dikenal dengan keterampilan 4C.

Keterampilan 4C terdiri dari *Creativity* (Kreativitas), *Communication* (Komunikasi), *Collaboration* (Kolaborasi), dan *Critical Thinking* (Berpikir Kritis). Salah satu cara yang dapat dilakukan oleh guru untuk menumbuhkan keterampilan 4C dalam diri peserta didik adalah dengan melatih keterampilan proses sains.

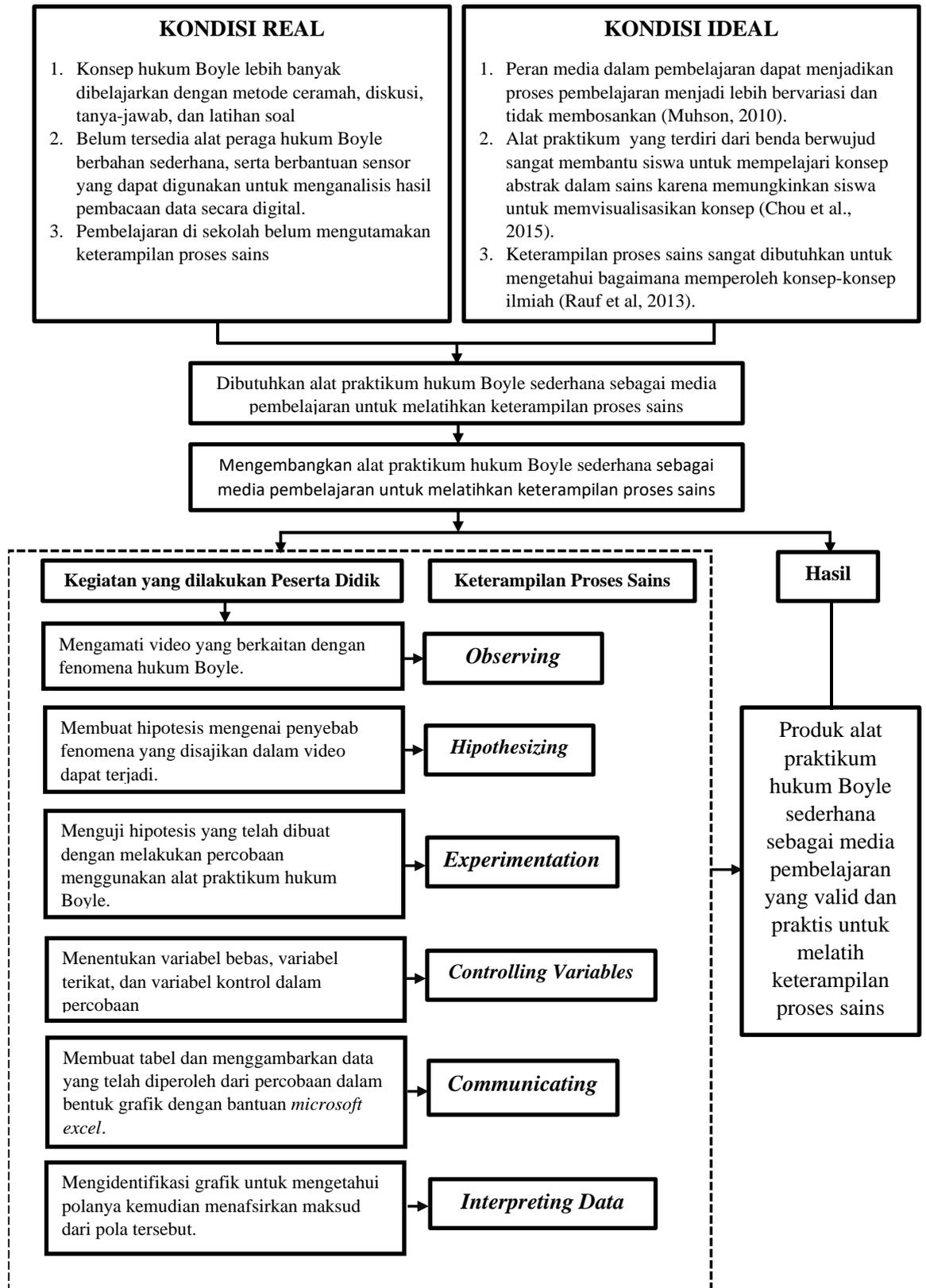
Dalam melatih keterampilan proses sains tentunya harus didukung oleh sarana pembelajaran yang memadai. Salah satu sarana pembelajaran yang dapat digunakan adalah media pembelajaran berupa alat praktikum. Kehadiran alat praktikum dapat membantu peserta didik dalam memahami konsep yang diajarkan karena peserta didik dapat memperoleh gambaran langsung mengenai konsep yang diajarkan. Selain itu, kehadiran alat praktikum memberikan stimulus kepada peserta didik untuk memecahkan masalah melalui metode ilmiah yang membuat keterampilan proses ilmiah dapat terlatih. Namun, beberapa guru di sekolah yang menjadi sampel penyebaran angket analisis kebutuhan dalam penelitian ini belum melatih keterampilan proses sains karena ketidaktersediaan alat praktikum. Hal ini mendorong peneliti untuk melakukan penelitian dengan mengembangkan alat praktikum hukum Boyle sederhana. Alat praktikum ini dimaksudkan untuk membantu guru dalam melatih keterampilan proses sains peserta didik pada pembelajaran konsep hukum Boyle di sekolah.

Alat praktikum ini dibuat menggunakan bahan-bahan sederhana yang murah dan mudah ditemukan di pasaran. Dalam penggunaannya, alat praktikum ini dapat memvisualisasikan fenomena hukum Boyle melalui dua besaran fisis yaitu tekanan dan volume. Besaran tekanan dapat diukur dengan menggunakan sensor BMP280 yang dibantu oleh mikrokontroler ESP32 untuk mengirimkan data hasil pengukuran ke *platform blynk*. Data tekanan yang dikirimkan ke *platform blynk* dapat diakses dan dilihat melalui laptop ataupun smartphone. Sementara itu, untuk besaran volume dilakukan pengukuran secara manual. Hal ini dikarenakan tidak tersedianya sensor volume di pasaran. Pengukuran dilakukan dengan memperhatikan perubahan

posisi piston melalui skala yang ada di tabung piston. Data tekanan dan volume yang diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan *microsoft excel* dan divisualisasikan dalam bentuk grafik.

Penggunaan alat praktikum ini terintegrasi dengan beberapa indikator keterampilan proses sains diantaranya *observing*, *hypothesizing*, *experimentation*, *controlling variables*, *communicating*, dan *data interpreting*. Pada indikator *observing*, peserta didik mengamati video yang berkaitan dengan fenomena hukum Boyle. Indikator *hypothesizing* dilakukan peserta didik dengan membuat hipotesis mengenai penyebab fenomena yang disajikan dalam video dapat terjadi. Untuk menguji hipotesis yang telah dibuat, peserta didik melakukan percobaan menggunakan alat praktikum hukum Boyle. Kegiatan ini melatih keterampilan proses sains pada indikator *experimentation*. Indikator *controlling variables* ditunjukkan ketika peserta didik menentukan variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol dalam percobaan. Selanjutnya data yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan peserta didik disajikan ke dalam bentuk tabel dan grafik, kegiatan ini melatih indikator *communicating*. Grafik yang disajikan kemudian diidentifikasi oleh peserta didik untuk diketahui polanya] kemudian peserta didik menafsir pola tersebut. Kegiatan ini melatih keterampilan proses sains pada indikator *data interpreting*.

Berdasarkan uraian pemikiran, bagan kerangka pemikiran dapat dijelaskan pada gambar 6.

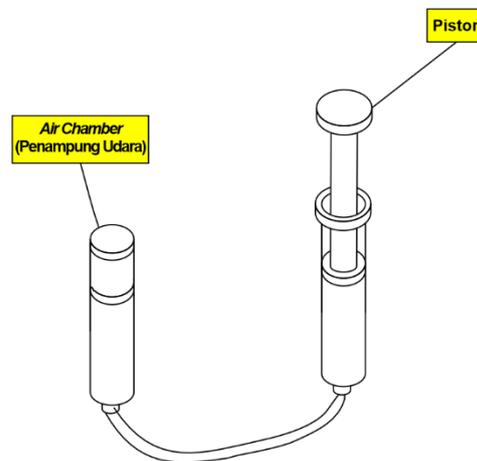


Gambar 6. Kerangka Pemikiran.

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 akan dikembangkan oleh peneliti adalah rangkaian alat praktikum hukum Boyle sederhana berbantuan sensor BMP 280 dan dianalisis menggunakan *platform Blynk*. Secara garis besar desain rangkaian alat praktikum terbagi menjadi tiga yaitu :

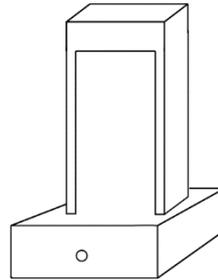
1. Piston dan *Air Chamber* (Penampung Udara)



Gambar 7. Desain Piston dan Air Chamber (Penampung Udara).

Desain piston dan *air chamber* (penampung udara) terdiri dari 2 buah suntikan berukuran 60 cc dan 120 cc yang dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan selang. Suntikan yang berukuran 120 cc digunakan untuk mengompres udara dengan menggunakan piston. Sedangkan, suntikan yang berukuran 60 cc dimampatkan untuk dijadikan *air chamber* (penampung udara) dan pada ujungnya ditanamkan sensor BMP 280 untuk mengukur tekanan udara yang terkompres dalam sistem hukum Boyle.

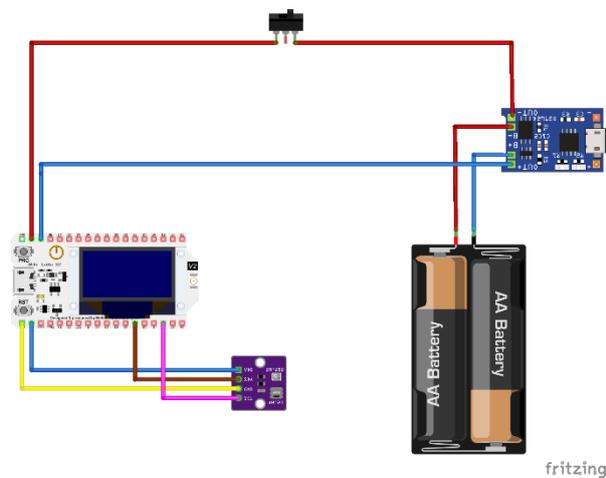
2. Desain Kerangka



Gambar 8. Desain Kerangka.

Desain kerangka untuk alat praktikum hukum Boyle ini terbuat dari papan tripleks pada bagian bawah berbentuk kubus yang masing-masing sisinya berukuran 15 cm. Kubus bagian bawah ini berguna sebagai tempat berdirinya *air chamber* sekaligus menjaga kestabilannya agar tidak jatuh ketika menerima aliran udara yang terkompres dari tabung piston. Sementara itu, untuk bagian atasnya terdapat kotak yang berukuran 15 cm x 15 cm x 30 cm. Kotak bagian atas itu berguna sebagai tempat meletakkan rangkain sensor. Kubus bagian bawah dan kotak bagian atas dipaku antar sisinya hingga terbentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

3. Desain Rangkaian Elektronika



Gambar 9. Desain Rangkaian Elektronika.

Desain rangkaian elektronika ini terdiri dari mikrokontroler ESP 32, sensor BMP 280, TP4056, sakelar, dan baterai 18650. Rangkaian ini terhubung satu sama lain oleh kabel *jumper*. Mikrokontroler ESP 32 berfungsi sebagai otak dari rangkaian yang mengelola sistem kerja dari sensor BMP 280. Selain itu, mikrokontroler ESP 32 ini juga berfungsi untuk menurunkan tegangan yang dihasilkan oleh baterai 18650 dan menyuplai daya untuk sensor BMP 280. Sensor BMP 280 berfungsi untuk mengukur tekanan udara yang tertampung di dalam *air chamber*. Baterai 18650 berfungsi sebagai sumber daya dalam rangkaian elektronika ini. Sakelar digunakan untuk memutus arus dari baterai 18650 ke mikrokontroler ESP 32 agar rangkaian dapat dimatikan atau dihidupkan sesuai dengan kebutuhan. TP4056 digunakan untuk mengisi ulang daya baterai 18650 ketika sewaktu-waktu dayanya habis.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian Pengembangan

Penelitian ini menggunakan model pengembangan *Design and Development Research* (DDR), model penelitian pengembangan produk yang diadaptasi dari Richey & Klein (2007). Model penelitian DDR ini pertama kali dikemukakan oleh Brown and Collins pada tahun 1990-an. Model penelitian ini juga dikenal dengan beberapa istilah berbeda yakni seperti *developmental research, design research, design-based research, formative research* dan *designed case* (Sahrir *et al.*, 2012).

Richey & Klein (2007) mengemukakan definisi dari *Design and Development Research* (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*”. Definisi tersebut dapat diartikan bahwa *Design and Development Research* (DDR) adalah studi sistematis tentang proses desain, pengembangan, dan evaluasi dengan tujuan membangun basis empiris untuk penciptaan produk atau alat pengajaran model baru yang dikembangkan. Mengacu dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil akhir dalam penelitian DDR merupakan pengembangan sebuah produk yang dapat diuji cobakan

3.2 Prosedur Penelitian Pengembangan

Prosedur penelitian pengembangan ini menggunakan pendekatan *Design and Development Research* (DDR) yang diadaptasi dari prosedur penelitian menurut Richey and Klien (2007), terdiri atas 4 tahapan yaitu, *analysis* (analisis), *design* (desain), *development* (pengembangan), dan *evaluation* (evaluasi). Adapun prosedur penelitian pengembangan ini dapat dilihat pada Gambar 10.

3.2.1 *Analysis* (Analisis)

Tahap *analysis* (analisis) merupakan tahap untuk menganalisis kebutuhan dengan mengidentifikasi masalah, harapan, dan solusi yang dapat diterapkan di lapangan. Pada tahap *analysis* (analisis) ini, ada beberapa hal yang menjadi fokus pengamatan peneliti seperti metode pembelajaran konsep hukum Boyle, ketersediaan alat praktikum, keterampilan proses sains peserta didik, dan kebutuhan mengenai alat praktikum yang dikembangkan peneliti. Identifikasi masalah pada penelitian pengembangan ini dilakukan dengan penyebaran angket analisis kebutuhan melalui media *google form* ke beberapa sekolah menengah atas. Informasi yang diperoleh dari hasil angket analisis kebutuhan menjadi dasar peneliti melakukan penelitian pengembangan ini.

3.2.2 *Design* (Desain)

Tahap *design* (desain) adalah tahap merancang produk yang dikembangkan yaitu alat praktikum hukum Boyle sederhana. Perancangan pada tahap *design* ini didasarkan pada hasil angket analisis kebutuhan. Hal tersebut dilakukan agar alat praktikum yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan guru dan peserta didik dalam pembelajaran konsep hukum Boyle. Perancangan desain alat praktikum dilakukan sembari mengumpulkan referensi untuk membuat alat praktikum hukum Boyle sederhana, serta dilanjutkan dengan pembuatan instrumen penelitian. Desain alat praktikum dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Desain Alat Praktikum.

3.2.3 *Development (Pengembangan)*

Setelah desain produk selesai dirancang, tahap selanjutnya adalah *development* (pengembangan) yaitu pembuatan alat praktikum hukum Boyle sesuai dengan desain yang telah dibuat. Pada tahap ini menghasilkan produk berupa alat praktikum yang kemudian dilakukan kalibrasi dan uji empiris. Kalibrasi dilakukan bertujuan untuk menyesuaikan sistem kerja sensor BMP280 dengan alat ukur tekanan standar yang dalam penelitian ini menggunakan manometer digital. Sedangkan, uji empiris dilakukan untuk mengetahui kesesuaian prinsip kerja alat praktikum dengan konsep hukum Boyle. Alat praktikum yang telah dikalibrasi dan diuji empiris kemudian dilakukan uji validitas. Uji validitas dilakukan untuk mengetahui kevalidan dan tingkat kelayakan alat praktikum sebagai media pembelajaran pada konsep hukum Boyle di sekolah. Uji validitas dilakukan oleh empat validator ahli yaitu dua dosen Program Studi Pendidikan Fisika dan dua guru SMA.

3.2.4 *Evaluation (Evaluasi)*

Tahap *evaluation* (evaluasi) dilakukan untuk melihat apakah kegiatan di setiap tahapan prosedur pengembangan telah sesuai dan berjalan dengan baik atau tidak. Evaluasi yang dilakukan pada pengembangan alat

praktikum hukum Boyle ini adalah evaluasi formatif dan evaluasi sumatif. Evaluasi formatif ini dilakukan pada setiap tahapan prosedur pengembangan yaitu pada tahap *analysis, design, development*, dan *evaluation*. Hasil dari evaluasi formatif ini digunakan sebagai bahan revisi. Sedangkan, evaluasi sumatif ini dilakukan untuk mengetahui pencapaian dari proses penelitian dan dilakukan setelah diperoleh hasil penilaian kepraktisan alat praktikum dari persepsi guru dan respon peserta didik.

3.3 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini yaitu angket analisis kebutuhan, angket uji validitas, angket persepsi guru, angket respon peserta didik, dan lembar analisa keterampilan proses sains.

3.3.1 Angket Analisis Kebutuhan

Angket analisis kebutuhan berisi daftar pertanyaan yang ditujukan kepada guru dan peserta didik seperti yang dapat dilihat pada lampiran 1. Angket ini dimaksudkan untuk menjaring informasi tentang pembelajaran konsep hukum Boyle di sekolah. Hasil dari angket ini kemudian dijadikan sebagai landasan dalam penelitian pengembangan ini.

3.3.2 Angket Uji Validitas

Angket uji validitas digunakan untuk mengetahui tingkat kevalidan dan kelayakan alat praktikum yang dikembangkan sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran pada konsep hukum Boyle. Angket uji validitas ditujukan kepada empat validator yaitu dua dosen Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Lampung dan dua guru SMA. Sistem penskoran menggunakan skala Likert yang diadaptasi dari Ratumanan & Laurent (2011) dapat dilihat seperti pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Skala Likert pada Angket Uji Validitas

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

3.3.3 Angket Persepsi Guru

Angket persepsi guru ditujukan kepada lima belas guru yang bertujuan untuk mengetahui persepsi guru mengenai kepraktisan alat praktikum hukum Boyle sederhana yang dikembangkan apabila digunakan dalam proses pembelajaran. Aspek yang dinilai pada angket ini diadaptasi dari Festiana *et al.* (2019) yaitu *usefulness*, *ease of use*, *ease of learning*, dan *satisfaction*. Sementara itu, untuk sistem penskoran menggunakan skala Likert yang diadaptasi dari Ratumanan & Laurent (2011). Untuk lebih jelasnya terkait aspek dan sistem penskoran dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Aspek dan Sistem Penskoran Angket Persepsi Guru

No.	Aspek yang dinilai	Skor			
		4	3	2	1
1	<i>Usefulness</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
2	<i>Ease of Use</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
3	<i>Ease of Learning</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
4	<i>Satisfaction</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik

3.3.4 Angket Respon Peserta Didik

Angket respon peserta didik ditujukan kepada dua belas mahasiswa baru pendidikan fisika pada kelompok kecil yang bertujuan untuk mengetahui pendapat peserta didik mengenai kepraktisan alat praktikum hukum Boyle sederhana yang dikembangkan. Sama seperti

angket persepsi guru, angket respon peserta didik juga memiliki empat aspek yang diadaptasi dari Putri dkk. (2022) yaitu kemudahan, motivasi, kemenarikan, dan kebermanfaatan. Sementara itu, untuk sistem penskoran menggunakan skala Likert yang diadaptasi dari Ratumanan & Laurent (2011). Untuk lebih jelasnya terkait aspek dan sistem penskoran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Aspek dan Sistem Penskoran Angket Respon Peserta Didik

No.	Aspek yang dinilai	Skor			
		4	3	2	1
1	Kemudahan	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
2	Motivasi	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
3	Kemenarikan	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
4	Kebermanfaatan	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik

3.3.5 Lembar Analisa Keterampilan Proses Sains

Lembar analisa keterampilan proses sains diisi oleh peneliti sembari menganalisa penggunaan alat praktikum oleh peserta didik. Lembar ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan alat praktikum dalam melatih keterampilan proses sains peserta didik. Aspek penilaian pada lembar analisis ini berorientasi pada enam indikator keterampilan proses sains menurut Chiappetta & Koballa (2002) yaitu *observing*, *controlling variables*, *hypothesizing*, *experimentation*, *communicating*, dan *data interpreting*. Sistem penskoran menggunakan skala *Likert* dari Ratumanan & Laurent (2011) seperti pada tabel 6.

Tabel 6. Skala Likert pada Lembar Analisis Keterampilan Proses Sains (KPS)

Indikator KPS	Skor			
	4	3	2	1
<i>Observing</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
<i>Controlling Variables</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
<i>Hypothesizing</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
<i>Experimentation</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
<i>Communicating</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik
<i>Data Interpreting</i>	Sangat baik	Baik	Kurang baik	Tidak baik

3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian pengembangan ini yaitu dengan cara menganalisis hasil uji validitas, persepsi guru, respon peserta didik, dan analisa keterampilan proses sains.

3.4.1 Analisis Data Uji Validitas

Data validitas diperoleh dari angket uji validitas yang diisi oleh validator ahli. Instrumen yang digunakan memiliki empat kriteria pilihan jawaban, yang dianalisis dengan analisis persentase yang diadaptasi dari 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 7.

Tabel 7. 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 7, peneliti memberikan batasan terhadap produk yang dikembangkan bahwa terkategori valid apabila dapat mencapai skor minimal 60% yaitu dengan kriteria validitas sedang atau cukup baik.

3.4.2 Analisis Data Persepsi Guru, Respon Peserta Didik, Analisa Keterampilan Proses Sains

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kepraktisan alat praktikum hukum Boyle sederhana yang dikembangkan dalam pembelajaran berdasarkan persepsi guru, respon peserta didik, dan analisa keterampilan proses sains. Hasil analisis data persepsi guru, respon peserta didik, dan analisa keterampilan proses sains kemudian dianalisis menggunakan analisis persentase menurut 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 8.

Tabel 8. Konversi Skor Data Kepraktisan

Persentase	Kriteria
0,00%-20%	Tidak baik
20,1%-40%	Kurang baik
40,1%-60%	Cukup baik
60,1%-80%	Baik
80,1%-100%	Sangat baik

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

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

1. Alat praktikum hukum Boyle 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 0.88 yang dipersentasekan menjadi 88% dengan kategori validitas sangat tinggi.
2. Alat praktikum hukum Boyle dinyatakan praktis yang ditinjau melalui hasil persepsi guru, respon peserta didik, dan analisa keterampilan proses sains. Persepsi guru memperoleh nilai rata-rata akhir sebesar 0.83 yang dipersentasekan menjadi 83% dengan kategori sangat baik, respon peserta didik memperoleh nilai rata-rata akhir sebesar 0.90 yang dipersentasekan menjadi 90% dengan kategori sangat baik, dan analisa keterampilan proses sains memperoleh nilai rata-rata akhir sebesar 0.86 yang dipersentasekan menjadi 86% dengan kategori sangat baik.

5.2 Saran

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

1. Desain alat praktikum lebih dirampingkan agar mudah dibawa kemana-mana.

2. Penggunaan kabel jumper yang menghubungkan sensor BMP280 dan mikrokontroler ESP32 lebih diefektifkan lagi dengan menggunakan kabel yang panjangnya 30 cm agar tidak terlihat berantakan.
3. Untuk mengakses *platform Blynk* lebih dari lima orang dapat berlangganan menggunakan *platform Blynk* premium.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, K. P. 2018. Hands-on, Minds-on and Hearts-on Activities in High School Science Teaching: a Comparison Between Public and Private Schools in Nepal. *The Online Journal of New Horizons in Education*, 8(2), 51–57.
- Adani, F., & Salsabil, S. 2019. Internet of Things: Sejarah Teknologi Dan Penerapannya. *Jurnal Isu Teknologi STT Mandala*, 14(2), 92–99.
- 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.
- 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.
- Amnie, E., Abdurrahman, & Ertikanto, C. 2014. Pengaruh Keterampilan Proses Sains terhadap Penguasaan Konsep Siswa pada Ranah Kognitif. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 2(7), 123–137.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. 2001. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York : Addison Wesley Longman, Inc.
- 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 Praktik*. Jakarta : Bumi Aksara.
- Arsyad. 2011. *Media Pembelajaran*. Jakarta : Rajawali Press.
- Astuti, I. A. D., Sumarni, R. A., & Saraswati, D. L. 2017. Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Mobile Learning Berbasis Android Pada Materi Fluida Statis. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 3(1), 57–62.

- Bancong, H., & Putra, D. 2015. Analisis Proses Keterampilan Proses Sains Mahasiswa Berdasarkan Gaya Berpikir Dan Kecerdasan Jamak Pada Praktikum Fisika Modern Di Universitas Muhammadiyah Makassar. *Jurnal Pendidikan Fisika Unismuh*, 3(1), 27–33.
- Beaumont-Walters, Y., & Soyibo, K. 2001. An analysis of high school students' performance on five integrated science process skills. *Research in Science and Technological Education*, 19(2), 133–145.
- Bintang, H., Darnah, E., Masta, N., Rinaldi, R., Guswantoro, T., & Sianturi, M. 2020. Analisis Pengetahuan Konseptual, Prosedural, dan Metakognitif Siswa Melalui Pembelajaran Integrasi Flipped Classroom dan PBL. *Physics Education Research Journal*, 2(2), 105–122.
- Brotherton, P. N., & Preece, P. F. W. 1995. Science Process Skills: Their nature and interrelationships. *Research in Science & Technological Education*, 13(1), 5–11.
- Budijanto, A., Winardi, S., & Susilo, K. E. 2021. *Interfacing Dengan ESP32*. Surabaya : Scopindo Media Pustaka.
- Chiappetta, E. L., & Koballa, T. R. 2002. *SCIENCE INSTRUCTION IN THE MIDDLE AND SECONDARY SCHOOLS : Developing Fundamental Knowledge and Skills*. New Jersey : Merrill Prentice Hall.
- Chou, Y. C., Yen, H. Y., Yen, H. W., Chao, Y. L., & Huang, Y. H. 2015. The effectiveness of teaching aids for elementary students' renewable energy learning and an analysis of their energy attitude formation. *International Journal of Environmental and Science Education*, 10(2), 219–233.
- Dewantara, D., Febrianti, Wati, M., & Mastuang. 2019. Development of simple machines props to train student's science process skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1171(1), 1–8.
- Dhanapal, S., & Shan, E. W. Z. 2014. A Study on the Effectiveness of Ethical Leadership. *International Online Journal of Primary Education*, 3(1), 29–40.
- 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.
- Dorrio, B. V., Blanco-Garcia, J., & Costa, M. F. M. 2011. Hands-on Physics Experiments for Classroom. *International Conference on Hands-on Science Focus on Multimedia*, 8, 85–91.
- Dukhan, N. 2015. On the worldwide engineering students' meager performance in thermodynamics. *QScience Proceedings*, 2015, 2–7.

- Durani, H., Sheth, M., Vaghasia, M., & Kotech, S. 2018. Smart Automated Home Application using IoT with Blynk App. *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, ICICCT 2018*, 393–397.
- Festiana, I., Herlina, K., Kurniasari, L. S., & Haryanti, S. S. 2019. Damping Harmonic Oscillator (DHO) for learning media in the topic damping harmonic motion. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3), 1–6.
- Fitriah, F., Lubis, P., & Kuswidyano, A. 2023. Pengembangan Alat Peraga Dari Bahan Bekas Pada Materi Perubahan Energi Siswa Kelas IV SD. *JEMS (Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains)*, 11(1), 70–81.
- Gagne, R. 1965. *The Psychological Bases of Science—a Process Approach*. Washington DC : AAA.
- Harlen, W. 1999. Purposes and procedures for assessing science process skills. *Assessment in Education*, 6(1), 129–144.
- Hasan, M., Khasanah, B. A., Patriyani, R. E. H., Nahriana, Hidayati, H. T., Ridha, Z., Umami, R., Rahmatullah, Rahmah, N., Nurmitasari, Inanna, Masdiana, Mainuddin, Astuti, R., Harahap, T. K., & Mulati, T. S. 2021. *Pengembangan Media Pembelajaran*. Klaten : Tahta Media Group.
- Herlina, A., Syahbana, M. I., Gunawan, M. A., & Rizqi, M. M. 2022. Sistem Kendali Lampu Berbasis Iot Menggunakan Aplikasi Blynk 2.0 Dengan Modul Nodemcu Esp8266. *INSANtek - Jurnal Inovasi Dan Sains Teknik Elektro*, 3(2), 61–66.
- Hidayat, R., & Mardiyanto, R. 2016. Pengembangan Sistem Navigasi Otomatis Pada UAV (Unmanned Aerial Vehicle) dengan GPS(Global Positioning System) Waypoint. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 898–903.
- Hodosyová, M., Útla, J., Monika Vanyová, Vnuková, P., & Lapitková, V. 2015. The Development of Science Process Skills in Physics Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 186, 982–989.
- Holstermann, N., Grube, D., & Bögeholz, S. 2010. Hands-on Activities and Their Influence on Students' Interest. *Research in Science Education*, 40, 743–757.
- Jalil, S., Herman, Sidin Ali, M., & Haris, A. 2018. Development and validation of science process skills instrument in physics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1), 1–6.
- Kartono. 2010. Hands On Activity Pada Pembelajaran Geometri Sekolah Sebagai Asesmen Kinerja Siswa. *Jurnal Matematika Kreatif-Inovatif*, 1(1), 21–32.

- 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).
- Khaeriyah, Suryani, D. I., & Taufik, A. N. 2022. Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Berbasis Keterampilan Proses Sains pada Tema Hujan Asam Kelas VII SMP. *PENDIPA Journal of Science Education*, 6(3), 688–694.
- Kua, M. Y. 2020. Tabung Suntik Untuk Hukum Boyle, Simulasi Pengukuran Tekanan Udara Dengan Real World Problem Sebagai Alternatif Pemecahan Masalah. *IMEDTECH (Instructional Media, Design and Technology)*, 4(2), 43–53.
- Kumala, D. R., Rohmah, Z. 2020. Pendampingan Belajar Menggunakan Media Ular Tangga Pembelajaran Bahasa Inggris Siswa SD di Bandarkedungmulyo. *Jumat Pengabdian Masyarakat Bidang Pendidikan*, 1(1), 44–47.
- Lestari, R., & Suliyannah. 2014. Penerapan Pendekatan Keterampilan Proses Sains dalam Model Pembelajaran Guided Discovery pada Materi Suhu Dan Kalor Terhadap Hasil Belajar Siswa Di SMA N 1 Sukomoro. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*, 3(2), 60–64.
- Liandari, E., Siahaan, P., Kaniawati, I., & Isnaini, I. 2017. Upaya Meningkatkan Kemampuan Merumuskan Dan Menguji Hipotesis Melalui Pendekatan Keterampilan Proses Sains Dengan Metode Praktikum. *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*, 2(1), 50–55.
- Maharani, M., Wati, M., & Hartini, S. 2017. Pengembangan Alat Peraga Pada Materi Usaha dan Energi Untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains Melalui Model Inquiry Discovery Learning (IDL terbimbing). *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 351–367.
- Maison, Darmaji, Kurniawan, D. A., Astalini, Dewi, U. P., & Kartina, L. 2019. *Analysis Of Science Process Skills In Physic Education Students. Jurnal Penelitian Dan Evaluasi Pendidikan*. 23(2), 197–205.
- Mardhiyah, R. H., Aldriani, N. F. A., Chitta, F., & Zulfikar, M. R. 2021. Pentingnya Keterampilan Belajar di Abad 21 sebagai Tuntutan dalam Pengembangan Sumber Daya Manusia. *Jurnal Pendidikan*, 12(1), 29–40.
- Mohd Sharif, S., Basiran, M. F., & Amon, N. 2021. Innovation in Teaching Methodology: Level of Student Acceptance of ‘Boyles Law Apparatus’ Teaching Aids in Thermodynamics Course. *ANP Journal Of Social Sciences And Humanities*, 2(1), 46–54.
- Muliadi, Imran, A., & Rasul, M. 2020. Pengembangan Tempat Sampah Pintar Menggunakan ESP32. *Jurnal Media Elektrik*, 17(2), 73–79.

- Mursyidi, W. 2019. Almarhalah | Jurnal Pendidikan Islam. *Al Marhalah Jurnal Pendidikan Islam*, 3(1), 33–38.
- Nofitri, Akbar, H., Ismawati, S. S., Verina, H., Lyjamil, V. N. H., Soleh, M., Sobirin, R., & Irzaman. 2013. Pembuktian Hukum Boyle pada Gas Ideal Berbantuan Data Studio Software dalam Praktikum Termodinamika. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran Dan Sains 2013*, 2016, 22–23.
- Nugrahanta, G. A., Rismiati, C., Anugrahana, A., & Kurniastuti, I. 2016. Berbasis Metode Montessori Papan Dakon Operasi Bilangan Bulat Untuk Siswa Sd. *Jurnal Penelitian (Edisi Khusus PGSD)*, 20(2), 103–116.
- Nugroho, M. V. K., & Nurandini, A. 2023. Implementasi Experiential Learning pada Materi Proses Pembentukan Urine Manusia. *Jurnal Penelitian Pendidikan Matematika Dan Sains*, 7(1), 22–29.
- Nurtang, Herman, & Haris, A. 2019. Keterampilan Proses Sains Fisika Peserta Didik Kelas XI SMA Negeri 24 Bone. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 15(4), 53–62.
- Özgelen, S. 2012. Students' science process skills within a cognitive domain framework. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 8(4), 283–292.
- Prayitno, W. A., Muttaqin, A., & Syauqy, D. 2017. Sistem Monitoring Suhu, Kelembapan, dan Pengendali Penyiraman Tanaman Hdiroponik Menggunakan Blynk Android. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Komunikasi Dan Ilmu Komputer*, 1(4), 292–297.
- Putri, W. A., Astalini, A., & Darmaji, D. 2022. Analisis Kegiatan Praktikum untuk Dapat Meningkatkan Keterampilan Proses Sains dan Kemampuan Berpikir Kritis. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 4(3), 3361–3368.
- Putriani, E., Hamid, A., & Evendi. 2022. PENGARUH MODEL PEMBELAJARAN FLIPPED CLASSROOM TERHADAP HASIL BELAJAR PESERTA DIDIK DALAM. *Silampari Jurnal Pendidikan Ilmu Fisika*, 4(2), 149–160.
- Rahma, Y. T., Putri, D. H., & Syarkowi, A. 2023. Analisis Kebutuhan Alat Peraga Sederhana Dalam Melatihkan Keterampilan Proses Sains Siswa Pada Pembelajaran Fisika. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 14(1), 57–66.
- Ratumanan, & Laurent, T. 2011. *Penilaian Hasil Belajar pada Tingkat Satuan Pendidikan*. Surabaya : Unesa University Press.
- Rauf, R. A. 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).
- Reynolds, A. J. 1991. Effects of an Experiment-Based Physical Science Program on Cognitive Outcomes. *Journal of Educational Research*, 84(5), 296–302.
- Richey, R. C., & Klein, J. D. 2007. *Design and Development Research Methods, Strategies, and Issues*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- 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., Alias, N. A., Ismail, Z., & Osman, N. 2012. Employing design and development research (DDR) approaches in the design and development of online arabic vocabulary learning games prototype. *TOJET :Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(2), 108–119.
- Salami, I. A. 2014. HANDS-ON / MIND-ON ACTIVITY-BASED STRATEGY : THE EFFECT ON PRE- SERVICE TEACHERS SUBJECT MATTER KNOWLEDGE IN A PRIMARY. *Journal of Emerging Trends in Educational Research and Policy Studies (JETERAPS)*, 5(7), 96–103.
- Saleh, S. Y., Muhiddin, N. H., & Rusli, M. A. 2020. Studi Keterampilan Proses Sains (KPS) Peserta Didik. *Jurnal IPA Terpadu*, 3(2), 75–86.
- Satria, R. P., & Devi, V. M. 2023. Pengembangan Alat Praktikum Fisika Berbasis Sensor Ultrasonik Berbantuan Aplikasi Delphi. *ORBITA: Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 9(1), 112–118.
- Setiawan, A., & Purnamasari, A. I. 2019. Pengembangan Smart Home Dengan Microcontrollers ESP32 Dan MC-38 Door Magnetic Switch Sensor Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Meningkatkan Deteksi Dini Keamanan Perumahan. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 3(3), 451–457.
- Shahbana, E. B., Kautsar farizqi, F., & Satria, R. 2020. Implementasi Teori Belajar Behavioristik Dalam Pembelajaran. *Jurnal Serunai Administrasi Pendidikan*, 9(1), 24–33.
- Siswati, E. K., Herlina, L., & Budiyanto, K. 2012. Model Hands On Minds On dengan Bantuan Media Asli pada Materi Spermatophyta. *Unnes Journal of Biology Education*, 1(1), 33–39.
- Smaldino, S. E., Lowther, D. L., & Russel, J. D. 2011. *INSTRUCTIONAL TECHNOLOGY & MEDIA FOR LEARNING : Teknologi Pembelajaran dan*

Media untuk Belajar. Jakarta : Kencana.

- Snětinová, M., Káčovský, P., & Machalická, J. 2018. Hands-on experiments in the interactive physics laboratory: Students' intrinsic motivation and understanding. *Center for Educational Policy Studies Journal*, 8(1), 55–75.
- Star, J. R., & Newton, K. J. 2009. The nature and development of experts' strategy flexibility for solving equations. *ZDM - International Journal on Mathematics Education*, 41(5), 557–567.
- Sudjana. 2005. *METODA STATISTIKA*. Bandung : Tarsito Bandung.
- Sudjana, N. 2017. *Dasar-Dasar Proses Belajar Mengajar* (14th ed.). Bandung : Sinar Baru Algesindo.
- Suprayanti, I., Ayub, S., & Rahayu, S. 2016. Penerapan Model Discovery Learning Berbantuan Alat Peraga Sederhana untuk Meningkatkan Aktivitas dan Hasil Belajar Siswa Kelas VII SMPN 5 Jonggat Tahun Pelajaran 2015/2016. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 2(1), 30–35.
- Suwardi, Firmiana, M. E., & Rohayati, R. 2014. Pengaruh Penggunaan Alat Peraga terhadap Hasil Pembelajaran Matematika pada Anak Usia Dini. *JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI HUMANIORA*, 2(4), 297–305.
- Tilakaratne, T., & Ekanayake, S. Y. 2017. Achievement level of Science Process Skills of Junior Secondary Students: Based on a Sample of Grade Six and Seven Students from Sri Lanka. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(9), 2089–2108.
- Tipler. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Turiman, P., Omar, J., Daud, A. M., & Osman, K. 2012. Fostering the 21st Century Skills through Scientific Literacy and Science Process Skills. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 59, 110–116.
- Ulum, M., Firmansyah, R. A., & Fibonacci, A. 2019. KEEFEKTIFAN HANDS ON MINDS ON ACTIVITIES BERBASIS SOCIO SCIENTIFIC ISSUE TERHADAP LITERASI SAINS. *PAEDAGOGIA Jurnal Penelitian Pendidikan*, 22(2), 99–120.
- Vollmer, M., & Möllmann, K. P. 2012. Low cost hands-on experiments for Physics teaching. *Latin American Journal of Physics Education*, 6(1), 3–9.
- Wahyuni, S., Suhendar, & Setiono. 2020. Jurnal Pelita Pendidikan. *Jurnal Pelita Pendidikan*, 8(1), 41–45.
- Watson, J. B. (1913). Psychology as the behaviourist views it. *Psychological Review*, 20(2), 158–177.

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, H. D., & Freedman, R. A. 2002. *FISIKA UNIVERSITAS Jilid I Edisi Kesepuluh*. Jakarta : Erlangga.

Yurika, S. N., Sucahyo, I., & Yantidewi, M. 2021. Rancang Bangun Alat Pengukur Ketinggian, Tekanan Udara, Dan Temperatur Udara Dengan Bluetooth Low Energy. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 10(3), 1–8.