

Pengembangan Alat Peraga Pengukur Debit Air Menggunakan Sensor Flow Berbasis Arduino Sebagai Media Pembelajaran Fluida

Fita Tri Wahyuningsih^{1*}, Yusro Al Hakim², Ashari³

Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Purworejo

Jl. K.H.A. Dahlan 3 Purworejo 54111, Jawa Tengah, Indonesia

*Email: fitatriwahyuningsih@gmail.com

Article Info: Submitted: 19/11/2018 | Revised: 10/12/2018 | Accepted: 20/01/2019

Intisari - Telah dilakukan penelitian pengembangan alat peraga pengukur debit air menggunakan sensor flow berbasis arduino sebagai media pembelajaran fluida guna mengetahui kelayakan alat ukur debit air yang dikembangkan sebagai media pembelajaran fluida. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan terdiri dari tahap pengumpulan data, desain produk, validitas desain, revisi desain, uji coba terbatas. Subyek penelitian untuk adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Muhammadiyah Purworejo sebanyak 19 mahasiswa. Berdasarkan hasil uji coba alat yang dilakukan Pengukur Debit Air menggunakan Sensor Flow berbasis Arduino didapat debit sebesar $(3,80 \pm 0,13)$ liter / menit. Sedangkan data hasil uji coba debit yang diambil secara manual sebesar $(3,55 \pm 0,31)$ liter / menit dengan kesalahan relatif yaitu sangat kecil, dengan perbandingan data pengukuran sensor dan manual pada debit air sebesar 3,40%. Hal ini menunjukkan nilai keakuratan pengukuran yang sangat baik. Berdasarkan hasil validasi yang dilakukan oleh validator yaitu dosen ahli dan teman sejawat diperoleh bahwa kualitas alat peraga termasuk dalam kategori sangat baik dengan perolehan rerata persentase sebesar 76% dan kualitas buku panduan termasuk dalam kategori sangat baik dengan perolehan rerata presentase sebesar 78%. Uji coba terbatas dilakukan dengan melakukan praktikum menggunakan alat peraga pengukur debit air menggunakan sensor flow berbasis arduino, kemudian hasil angket respon mahasiswa menghasilkan nilai persentase sebesar 87,22% dengan kriteria sangat baik. Dengan demikian, alat peraga pengukur debit air menggunakan Sensor Flow Berbasis Arduino layak digunakan dalam praktikum fisika materi Fluida.

Kata Kunci: Alat Peraga, Sensor Flow, Arduino, Debit air dan Fluida

Abstract - Research has been carried out on the development of props for measuring water discharge using an Arduino-based flow sensor as a medium of fluid learning to determine the feasibility of a water discharge measurement tool developed as a fluid learning media. This research is a development study consisting of the stages of data collection, product design, design validity, design revision, limited trials. The research subjects were 19 students of the Physics Education, Muhammadiyah Purworejo University. Based on the results of the trial of the tool carried out, the Water Discharge Gauge using Arduino-based Flow Sensors obtained a debit of (3.80 ± 0.13) liters/minute. While the data from the test of discharge taken manually by (3.55 ± 0.31) liters/minute with a relative error is very small, with a comparison of sensor and manual measurement data on water discharge of 3.40%. There are shows the value of the measurement accuracy is excellent. Based on the results of the validation carried out by the validator namely expert lecturers and peers it was found that the quality of the teaching aids was included in the first category with an average percentage of 76% and the quality of the guidebook was included in the first category with an average percentage gain of 78%. A limited trial was conducted by conducting a practicum using a water discharge measuring instrument using an Arduino-based flow sensor. The results of the student questionnaire responses resulted in percentage value of 87.22% with excellent criteria. Thus, the measurement tool for measuring water discharge using Arduino-Based Flow Sensors is suitable for use in Fluid material physics experiments.

Keywords: Teaching Aid, Flow Sensor, Arduino, Water, and Fluid Discharge

1. PENDAHULUAN

Sains merupakan kumpulan pengetahuan, cara-cara mendapatkan dan mempergunakan pengetahuan. Fisika mempelajari gejala alam yang tidak hidup atau materi dalam lingkup ruang dan waktu [1], [2]. Pembelajaran Fisika memerlukan dipandang perlu dilakukan secara serius tapi tetap memberikan kesan menarik dan menyenangkan bagi siswa [3]. Agar tercapai hal tersebut pembelajaran Fisika dapat dilakukan dengan bantuan media pembelajaran [4], [5] maupun bahan ajar yang memiliki nilai keunikan dan kemenarikan bagi siswa selama mengikuti pembelajaran di kelas maupun di luar kelas [6], [7]. Sementara itu, untuk lebih memudahkan pemahaman terhadap materi dalam ilmu fisika bisa menggunakan atau memanfaatkan alat peraga [8].

Alat peraga merupakan alat yang dapat dipertunjukkan dalam kegiatan belajar mengajar dan berfungsi sebagai pembantu untuk memperjelas konsep atau pengertian contoh benda [9]. Melalui alat peraga pembelajaran siswa lebih termotivasi dalam belajar, lebih mudah dalam memahami konsep maupun kemampuan analisisnya [10]. Alat peraga dapat dimanfaatkan dalam pembelajaran karena dapat: (1) memberikan pedoman dalam merumuskan tujuan pembelajaran; (2) memberikan sistematika mengajar; (3) Memudahkan kendali pengajaran; (4) membangkitkan rasa percaya diri dalam mengajar; (5) membantu kecermatan dan ketelitian dalam penyajian; (6) meningkatkan kualitas pengajaran [11]–[13].

Prinsip penyusunan alat peraga pendidikan didasarkan pada proses perolehan informasi melalui panca indera, sehingga apabila seluruh panca indera terlibat dalam proses pembelajaran maka pemahaman peserta didik terhadap materi yang dipelajari semakin baik. Dengan perkataan lain, alat peraga ini dimaksudkan untuk menggerakkan indera sebanyak mungkin kepada suatu objek sehingga mempermudah persepsi .

Keberhasilan pembelajaran selain meningkatkan kemampuan kognitif maupun afektif; ketrampilan psikomotorik siswa dapat dilatih melalui pemanfaatan alat peraga alam pembelajaran di sekolah. Namun demikian, tidak semua sekolah memiliki sarana dan prasarana peraga pembelajaran terutama Fisika yang memadai [14].

Berdasarkan wawancara dengan beberapa guru Fisika di kabupaten Purworejo, alat peraga fluida di laboratorium sekolah relatif sedikit dan sederhana. Fluida digambarkan sebagai sebuah aliran zat alir berupa air maupun udara menggunakan model sayap pesawat terbang maupun aliran air dari suatu bejana ke bejana lainnya. Hal tersebut sejalan dengan hasil pengamatan [15] terkait pembelajaran fluida di sekolah menggunakan alat peraga. Pengamatan yang peneliti lakukan di laboratorium Fisika Universitas Muhammadiyah Purworejo, terdapat kekurangan pada alat peraga pengukur debit air untuk praktikum fluida, seperti pengoperasian dari keran ini masih manual di lakukan oleh mahasiswa. Kecepatan ketika membuka keran dapat mempengaruhi waktu untuk mengisi gelas ukur dan menentukan debit air yang telah tertampung.

Berdasarkan permasalahan yang telah dipaparkan peneliti tertarik untuk mengembangkan suatu alat peraga sebagai media pembelajaran di Laboratorium Fisika yang mudah dalam penggunaannya. Alat peraga yang akan peneliti kembangkan adalah Alat Peraga Pengukur Debit Air menggunakan Sensor Flow Berbasis Arduino. Alat ini menggunakan sensor flow yang dihubungkan dengan rangkaian otomatisasi arduino sehingga akan lebih akurat dalam pengambilan debit air pada alat peraga tersebut. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian pengembangan alat peraga pengukur debit air menggunakan sensor flow berbasis arduino sebagai media pembelajaran fluida.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Media Pembelajaran

Media pembelajaran adalah segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyalurkan pesan, sehingga dapat merangsang perhatian, minat, dan peranan peserta didik dalam kegiatan belajar untuk mencapai tujuan belajar [5], [11], [16]. Salah satu fungsi media pembelajaran sendiri adalah sebagai alat bantu mengajar yang turut mempengaruhi iklim, kondisi, dan lingkungan belajar yang ditata dan diciptakan [17]. Selain memberikan kemudahan siswa dalam belajar, adanya media dapat menumbuhkan sikap dan keterampilan psikomotorik juga memperjelas informasi pembelajaran.

2.2 Fluida Dinamis

Secara umum, zat dibagi menjadi tiga yaitu padat, cair dan gas. Ketiga zat tersebut yang termasuk fluida adalah zat cair dan gas. Fluida sendiri adalah gugusan yang tersusun atas molekul-molekul dengan jarak pisah yang cukup besar untuk gas dan jarak pisah yang cukup kecil untuk zat cair [18]. Molekul-molekul tersebut tidak dapat terikat pada suatu sisi melainkan zat-zat tersebut saling bergerak bebas terhadap satu dengan yang lainnya. Fluida dinamis sendiri adalah kata lain fluida yang bergerak. Gerakan fluida yang sesungguhnya sangatlah rumit sehingga dibuatlah beberapa asumsi yang memudahkan dalam melakukan pendekatan [19]. Debit adalah jumlah volume fluida yang mengalir persatuan waktu atau dapat dituliskan dalam persamaan (1) dan persamaan (2).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

keterangan:

Q = debit air m^3/s

t = selang waktu (s)

v = laju aliran fluida (m/s)

Aliran fluida sering dinyatakan dalam debit aliran, atau

$$Q = \frac{V}{A} \quad (2)$$

keterangan:

Q = debit aliran (m^3/s)

A = luas penampang (m^2)

V = volume (m^3)

2.3 Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler merupakan pengendali mikro pada suatu rangkaian elektronik berfungsi sebagai pengendali yang mengatur jalannya proses kerja dari rangkaian elektronik. Pada mikrokontroler ini keseluruhan sistem komputer yang dikemas menjadi sebuah *chip* dimana didalamnya sudah terdapat mikroprosesor, Input/ Output (I/o) pendukung, memori bahkan ADC yang mempunyai satu atau beberapa tugas yang spesifik, berbeda dengan mikroprosesor yang berfungsi sebagai pemrosesan data [20], [21].

Arduino adalah suatu perangkat prototype elektronik berbasis mikrokontroler yang fleksibel

dan *open source hardware*, perangkat keras dan perangkat lunaknya mudah digunakan. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan *Intregeted Development Environment* (IDE) yang canggih. IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, mengubah menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam memori mikrokontroler [22].

Spesifikasi Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output Pulse Width Modulation (PWM)), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header Internet Service Provider (ISP), dan sebuah tombol reset. Gambar 1 merupakan board arduino UNO R3.



Gambar 1. Board Arduino Uno

2.4 Sensor Flow

Sensor adalah komponen yang digunakan untuk mendeteksi suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkain listrik tertentu. Sensor *flow* merupakan sebuah perangkat sensor yang digunakan untuk mengukur debit fluida. Sensor *flow* adalah bagian yang digunakan pada *flow meter* [23].

Prinsip kerja dari sensor *flow meter* ini adalah mengukur aliran air dengan cara menghitung putaran sebuah kincir air di dalam flow meter ini yang otomatis berputar jika ada aliran air yang melewatinya. Dalam kincir air ini disematkan sebuah rotor yang memiliki magnet dan ketika berputar akan menghasilkan medan magnet berdasarkan prinsip "*Hall effect*" yaitu ada medan magnet dan tidak ada medan magnet yang berulang-ulang saat kincir air berputar akan menghasilkan output berupa gelombang kotak. Sinyal inilah yang nantinya akan kita hitung untuk menghasilkan nilai debit dan volume air yang

melewati *flow meter* [23]. Sensor *flow* dapat disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Flow Sensor*

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan alat peraga pengukur debit air menggunakan sensor *flow* berbasis arduino sebagai media pembelajaran fluida yang terdiri dari tahap pengumpulan data, desain produk, validitas desain, revisi desain, uji coba terbatas.. Subjek dalam penelitian ini adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Muhammadiyah Purworejo. Subjek penelitian ini adalah mahasiswa semester 4 Prodi P. Fisika yang berjumlah 19 orang. Teknik pengumpulan data melalui metode observasi, validasi alat, angket dan dokumentasi, sedangkan data dianalisis menggunakan analisis deskriptif presentase.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Pendahuluan

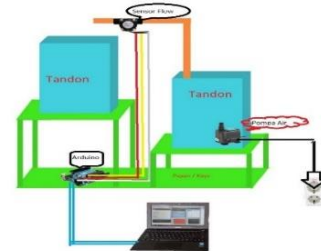
Pada tahap pendahuluan langkah-langkah yang dilakukan yaitu studi lapangan dan studi pustaka. Pada tahap studi lapangan dilaksanakan pengamatan terhadap alat-alat peraga yang digunakan untuk praktikum di Laboratorium Fisika Universitas Muhammadiyah Purworejo terutama saat melakukan asistensi praktikum Fisika Dasar I untuk mengetahui apa yang dibutuhkan sebagai penunjang pembelajaran. Studi pustaka dilakukan dengan melakukan kajian terhadap pembuatan alat peraga pengukur debit air menggunakan sensor *flow* berbasis arduino sebagai media pembelajaran fluida.

4.2 Desain Produk

4.2.1 Perencanaan Desain Produk

Sebelum pembuatan Alat Peraga Pengukur Debit Air menggunakan Sensor *flow* Berbasis Arduino, dilakukan perencanaan dengan pembuatan desain dari Alat Peraga Pengukur Debit

Air menggunakan Sensor *Flow* Berbasis Arduino yang akan dibuat, seperti Gambar 3.



Gambar 3. Skema Alat Peraga

4.2.2 Tahap Pembuatan Alat Peraga

Pembuatan Alat Peraga Pengukur Debit Air menggunakan Sensor *Flow* Berbasis Arduino melibatkan sejumlah alat dan bahan. Dibawah ini dipaparkan alat dan bahan yang diperlukan dalam pembuatan Alat Peraga Pengukur Debit Air menggunakan Sensor *Flow* Berbasis Arduino beserta fungsinya, sebagai berikut:

- 1) Peralatan yang digunakan dalam Pembuatan Alat Peraga Pengukur Debit Air menggunakan Sensor *Flow* Berbasis Arduino: a) Solder, b) Palu, 3) Gergaji, 4) Penghisap Timah, 5) Bor Listrik, 6) *Cutter*, 7) Penggaris
- 2) Bahan yang diperlukan dalam Pembuatan Alat Peraga yaitu: Kayu, Paku, Lem Kaca, PCB (*Printed Circuit Board*), Sensor *Flow*, Arduino, Pompa, Pipa, Tandon, Kabel, Kertas Label, Mur dan Baut.

Desain dan alat disajikan pada Gambar 4, meliputi (a). Rangkaian alat pengukur debit air, (b). rangkaian kit PCB, mur, Arduino, Kabel. (c). rangkaian sensor *flow* dalam pipa, (d). Alat pengukur debit air sebelum di rangakai, (e). pompa air, (f). tandon air, (g). papan kayu, (f). arduino. Alat peraga dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Komponen Alat Peraga

4.3 Prinsip Kerja Alat Peraga

Flow meter electromagnetic bekerja berdasarkan Hukum Faraday pada induksi elektromagnetik untuk mengukur proses aliran. Tingkat tegangan sinyal sesuai dengan rata-rata kecepatan aliran yang diinduksi pada elektroda ketika cairan konduktif mengalir melalui medan magnet pada suatu kecepatan

Sinyal tegangan induksi ditangkap oleh satu pasang atau lebih elektroda dan ditransmisikan ke converter untuk pemrosesan. Sinyal kemudian dikonversi ke dalam sinyal arus 4 – 20 mA, sinyal denyut (pulse), sinyal keluaran ditampilkan pada layar LCD pada waktu yang sama. Ukuran atau size dari flow meter magnetic ini mengacu pada kapasitas pompa atau besarnya aliran dari fluida dalam pipa. Hal ini untuk menjaga keakurasian *flow meter* dan sekaligus guna meningkatkan efektifasnya.

Posisi instalasi *flow meter* perlu di perhatikan dengan mengikuti petunjuk cara instalasi yang telah di berikan oleh produsen guna menghindari terjadinya *back pressure* maupun terjadinya *bubble* atau terjebaknya udara di dalam *flow meter*.

Gambar 4 menunjukkan desain alat flow meter yang telah dirancang sebagai alat peraga materi fluida. Air dipompa dari tanki kemudian dialirkan melalui flow meter sehingga dapat diketahui besarnya debit aliran yang mengalir dari tanki menuju ke bak penampungan air. Hasilnya dapat diketahui melalui monitor dan melalui pengukuran yang berulang maka diperoleh nilai rerata debit aliran berdasarkan volume dan waktu mengalirnya air dari tangki ke bak penampung.

4.4 Data Hasil Validasi Ahli

Sebagai proses langkah pengembangan produk alat peraga, untuk mengetahui kesahihan atau kevalidan alat peraga sesuai dengan fungsi maupun tujuannya, maka alat peraga divalidasi oleh ahli media, ahli materi, maupun praktisi. Aspek validasi meliputi aspek kebermanfaatan alat peraga, aspek penyajian alat peraga beserta panduan maupun petunjuk penggunaan, serta tampilan fisik alat peraga. Data hasil validasi dari 3 orang validator ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Penilaian Validasi

Aspek	Skor	
	Dosen Ahli	Teman
Manfaat	80%	89%
Penyajian	75%	75%
Penampilan Fisik	69%	69%

Pada Tabel 1 pengolahan data validasi media terhadap alat peraga pada tabel 1 dan gambar 5, diperoleh nilai persentase pada dosen untuk aspek manfaat 80 %, aspek penyajian 75%, dan aspek penampilan Fisik 69%. Nilai persentase pada teman sejawat untuk aspek manfaat 89%, aspek penyajian 75%, dan aspek penampilan fisik 69%. Alat peraga dapat disimpulkan bahwa alat peraga yang peneliti kembangkan pada beberapa aspek menghasilkan kriteria persentase sangat baik. Adapun aspek kelayakan isi, kebahasaan, sajian dan grafis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Buku Panduan

Aspek	Skor	
	Dosen Ahli	Praktisi
Kelayakan Isi	79%	92%
Kebahasaan	79%	75%
Sajian	75%	75%
Grafis	75%	75%

Tabel 2 menyajikan hasil pengolahan data validasi Ahli materi terhadap buku panduan alat peraga yang diperoleh nilai persentase pada dosen untuk aspek kelayakan isi 79%, aspek kebahasaan 79%, aspek sajian 75%, dan aspek grafis 75%. Nilai persentase pada praktisi untuk aspek kelayakan isi 92%, aspek kebahasaan 75%, aspek sajian 75%, dan aspek grafis 75%. Alat peraga yang peneliti kembangkan pada beberapa aspek menghasilkan kriteria persentase sangat baik. Dalam pengembangan alat ini, selain buku panduan juga telah disusun buku petunjuk/ manual penggunaan alat sebagai pedoman pengoperasian alat peraga.

4.5 Data Hasil Analisis Angket Respon Mahasiswa

Untuk mengetahui respon pengguna dalam hal ini mahasiswa, maka dilakukan pengumpulan data respon pengguna terhadap alat peraga yang telah dikembangkan menggunakan angket. Hasil penilaian angket respon mahasiswa terhadap alat

peraga pengukur debit air menggunakan sensor flow berbasis Arduino, dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Angket Respon Mahasiswa terhadap Alat Peraga

Aspek	Skor		%	Kriteria
	Jmh	Rerata		
Manfaat	276	14,53	90,81 %	Sangat Baik
Penyajian	396	20,84	86,83 %	Sangat Baik
Penampilan Fisik	320	16,84	84,2 %	Sangat Baik
Jumlah Skor Aktual	992	52,21	87,22 %	Sangat Baik

Berdasarkan data angket respon mahasiswa terhadap alat peraga pada Tabel 3, diperoleh nilai persentase pada mahasiswa untuk aspek manfaat 90,81 %, aspek penyajian 86,83%, dan aspek penampilan Fisik 84,2%. Nilai persentase rerata pada untuk semua aspek 87,22%. Berdasarkan hasil tersebut alat peraga yang peneliti kembangkan pada beberapa aspek menghasilkan kriteria persentase sangat baik. Namun demikian ada beberapa catatan terkait keterbacaan nilai debit pada layar, adanya aliran air dari pompa yang terkadang kurang stabil menyebabkan hasil nilai debit yang ditunjukkan berfluktuatif, namun masih dalam batas-batas ralat yang diijinkan. Hal tersebut sejalan dengan kajian [11] terkait pemanfaatan sensor dalam alat peraga dan pemanfaatan peraga dalam pembelajaran Fisika di sekolah [12], [24].

Hasil penilaian angket respon mahasiswa terhadap buku panduan alat peraga pengukur debit air menggunakan *sensor flow* berbasis Arduino ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Penilaian Angket Respon Mahasiswa

Aspek	Skor		%	Kriteria
	Jmlh	Rerata		
Kelayakan isi	206	10,84	90,33%	Sangat Baik
Kebahasaan	199	10,47	87,25%	Sangat Baik
Sajian	258	13,59	84,94%	Sangat Baik
Grafis	129	6,79	84,88%	Sangat Baik
Jumlah Skor	792	41,69	86,85%	Sangat Baik

Data validasi Ahli materi terhadap buku panduan alat peraga pada Tabel 4, diperoleh nilai persentase pada dosen untuk aspek kelayakan isi 90,33%, aspek kebahasaan 87,25%, aspek sajian 84,94%, dan aspek grafis 84,88%. Nilai persentase rerata untuk semua aspek 86,85%.

Alat peraga yang peneliti kembangkan pada beberapa aspek menghasilkan kriteria persentase sangat baik. Hasil percobaan menunjukkan nilai debit yang dihasilkan pada alat peraga telah sesuai dengan nilai perhitungan secara manual dalam batas ralat, namun perlu dikembangkan lebih lanjut lagi terkait aliran air yang lebih stabil dan kontinyu. Hal tersebut sejalan dengan kajian [23] pada mikrocontroller Atmega, meskipun prosedur pelaksanaan kegiatan percobaan telah sesuai dengan kajian oleh [22]. Namun demikian terdapat beberapa masukan dari pengguna alat peraga dalam hal ini mahasiswa bahwa aspek keamanan dan keselamatan kerja perlu diperhatikan, mengingat alat peraga ini menggunakan listrik dan air, jika tidak hati-hati maka dikhawatirkan membahayakan praktikan. Untuk itu perlu diberi pengaman pada komponen pompa air, sensor, dengan bahan isolator sebagaiantisipasi dan keamanan dalam kegiatan praktikum.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data di atas dapat diperoleh kesimpulan, bahwa penelitian pengembangan tersebut menghasilkan alat peraga pengukur debit air menggunakan sensor flow berbasis Arduino sebagai media pembelajaran pada materi fluida yang valid dan praktis, sehingga alat peraga Pengukur Debit Air menggunakan Sensor Flow berbasis Arduino sebagai Media Pembelajaran layak digunakan dalam praktikum untuk menjelaskan pokok bahasan Fluida.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Fatmawati, "Perumusan Tujuan Pembelajaran Dan Soal Kognitif Berorientasi Pada Revisi Taksonomi Bloom Dalam Pembelajaran Fisika," *Edu Sains J. Pendidik. Sains Dan Mat.*, vol. 1, no. 2, 2013.

- [2] A. P. BP and A. Retnoningsih, "Desain pembelajaran literasi sains berbasis problem based learning dalam membentuk keterampilan berpikir kritis siswa," *J. Innov. Sci. Educ.*, vol. 4, no. 2, 2015.
- [3] F. Ornek, W. R. Robinson, and M. P. Haugan, "What Makes Physics Difficult?," *Int. J. Environ. Sci. Educ.*, vol. 3, no. 1, pp. 30–34, 2008.
- [4] A. Amar Amrullah, "Penerapan Model Pembelajaran Discovery Learning dengan Menggunakan Media Komik untuk Meningkatkan Hasil Belajar Kognitif Siswa pada Materi Tekanan (Penelitian Pra Eksperimen di Kelas VIII SMP Plus Bandung Timur Kabupaten Bandung)," 2015.
- [5] I. Irwandani and S. Juariyah, "Pengembangan media pembelajaran berupa komik fisika berbantuan sosial media instagram sebagai alternatif pembelajaran," *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 5, no. 1, pp. 33–42, 2016.
- [6] E. Priyatni, "Model Penyusunan Bahan Ajar Membaca Berbasis Pendidikan Multikultural dan E-Learning," *LITERA*, vol. 11, no. 1, 2012.
- [7] M. Elma Sari, M. Amin Fauzi, and F. Ahyaningsih, "Development of Teaching Materials Based on a Metacognition Approach to Improve the Understanding Ability of Mathematical Concepts of Students of Budi Mulia Medan," *Am. J. Educ. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 24–32, Jan. 2019, doi: 10.12691/education-7-1-5.
- [8] G. Illeperuma and D. Sonnadara, "Computer vision based object tracking as a teaching aid for high school physics experiments," 2017, pp. 1–6.
- [9] A. Prasetyarini, "Pemanfaatan alat peraga IPA untuk peningkatan pemahaman konsep fisika pada siswa SMP Negeri I Buluspesantren Kebumen tahun pelajaran 2012/2013," *RADIASI J. Berk. Pendidik. Fis.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–10, 2013.
- [10] R. Holubova, "How to Motivate Our Students to Study Physics?," *Univers. J. Educ. Res.*, vol. 3, no. 10, pp. 727–734, 2015.
- [11] F. A. Marscella, H. Komikesari, J. Fakhri, and P. S. Dewi, "Termoskop dan Pendingin Udara Sederhana: Pengembangan Alat Peraga Fisika Untuk Pembelajaran Fisika," *Indones. J. Sci. Math. Educ.*, vol. 2, no. 3, pp. 333–343, 2019.
- [12] A. S. Isnanto, "Pengaruh Penggunaan Alat Peraga Berbasis Lingkungan (APBL) pada Materi Dinamika Partikel terhadap Kemampuan Psikomotor P1 Peserta Didik Kelas X SMA Negeri 1 Kutowinangun," *Radiasi J. Berk. Pendidik. Fis.*, vol. 4, no. 1, pp. 30–33, 2014.
- [13] N. A. Anidityas, N. R. Utami, and P. Widiyaningrum, "Penggunaan alat peraga sistem pernapasan manusia pada kualitas belajar siswa SMP kelas VIII," *Unnes Sci. Educ. J.*, vol. 1, no. 2, 2012.
- [14] R. F. Putri and J. Jumadi, "Kemampuan guru fisika dalam menerapkan model-model pembelajaran pada Kurikulum 2013 serta kendala-kendala yang dihadapi," *J. Inov. Pendidik. IPA*, vol. 3, no. 2, pp. 201–211, 2017.
- [15] A. Abdurrahman, "Pemanfaatan Science In Box dalam Pembelajaran Berbasis Inkuiri di SMP untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep Fluida Statis," *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 5, no. 2, pp. 205–212, 2016.
- [16] R. Puspitorini, A. Prodjosantoso, B. Subali, and J. Jumadi, "Penggunaan media komik dalam pembelajaran IPA untuk meningkatkan motivasi dan hasil belajar kognitif dan afektif," *J. Cakrawala Pendidik.*, vol. 33, no. 3, 2014.
- [17] A. Sadiman, "Media pendidikan: Pengertian, pengembangan, dan pemanfaatan," *Jkt. Graf. Pers*, 1993.
- [18] H. D. Young, R. A. Freedman, T. Sandin, and A. L. Ford, *University physics*, vol. 9. Addison-Wesley Reading, MA, 1996.
- [19] R. A. Serway and J. W. Jewett, *Physics for scientists and engineers with modern physics*. Cengage learning, 2018.
- [20] S. F. Barrett, "Arduino microcontroller processing for everyone!," *Synth. Lect. Digit. Circuits Syst.*, vol. 8, no. 4, pp. 1–513, 2013.
- [21] P. D. Minns, *C Programming for the PC the MAC and the Arduino Microcontroller System*. Author House, 2013.
- [22] W. Budiharto, *Panduan Praktikum Mikrokontroler AVR ATmega16*. Elex Media Komputindo, 2013.
- [23] A. Finawan and A. Mardiyanto, "Pengukuran debit air berbasis mikrokontroler AT89S51," *J. Litek*, vol. 8, no. 1, pp. 28–31, 2011.

- [24] L. Lia, "Kemampuan Mahasiswa dalam Membuat Alat Peraga Fisika melalui Pembelajaran Berbasis Proyek," *Wahana Didakt.*, vol. 16, no. 2, pp. 222–234, 2018.