



The Development of Physics Teaching Aids to Demonstrate the Intensity of Blackbody Radiation As a Function of Temperature

Hartono Bancong^{1*)}, Ana Dhiqfaini Sultan¹⁾, Subaer²⁾, Muris²⁾

¹⁾Jurusan Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Muhammadiyah Makassar

²⁾Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Makassar

Email: *Hartono.b.b@unismuh.ac.id

Abstract – The purpose of this study was to develop teaching aids of blackbody radiation experiment and practicum devices based on modified free inquiry which are valid and reliable. This teaching aids was designed to demonstrate the relationship between the intensity of radiation and the absolute temperature of a blackbody (the law of Stefan-Boltzmann). The principle of this experiments is the amount of current will flow from the voltage source and enter to the black box. The black box will absorb and emit radiation. There is a nichrome wire inside the black box that will be light up, heat and emit radiation when electrically flowed. The emitted heat will be measured by temperature sensors using thermocouple located outside the black box. Based on experts and practitioner evaluation, the developed teaching aids of blackbody radiation experiment and practicum devices based on modified free inquiry were found to be valid, and reliable. The results of the experiment showed that the intensity of blackbody radiation was directly proportional to its temperature. This result is consistent with the law of Stefan-Boltzmann. Furthermore, the average of students' perception of the developed teaching aids and practicum devices of blackbody radiation are 74.92% (good) and 80.17% (very good) respectively. This indicates that the teaching aids and practicum devices that have been developed can be used to demonstrate and prove the modern physics concepts related to blackbody radiation.

Keywords: Teaching Aids, Stefan-Boltzmann's law, Blackbody Radiation

Pengembangan Alat Peraga Fisika untuk Mendemonstrasikan Intensitas Radiasi Benda Hitam Sebagai Fungsi Temperatur

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum fisika berbasis modified free inquiry yang valid dan reliabel. Alat peraga tersebut dirancang untuk mendemonstrasikan hubungan antara intensitas radiasi benda hitam dengan suhu mutlak yang dipancarkannya (Hukum Stefan-Boltzmann). Prinsip kerja dari alat peraga tersebut adalah arus akan mengalir dari sumber tegangan dan masuk ke dalam kotak lubang hitam. Kotak ini berfungsi untuk menyerap dan memancarkan radiasi. Di dalam kotak terdapat kawat nicrom yang akan menyala dan memancarkan radiasi ketika dialiri arus listrik. Panas yang dipancarkan akan diukur oleh termokopel radiasi yang berada di luar kotak. Berdasarkan penilaian validator, alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum fisika berbasis modified free inquiry yang telah dikembangkan dinyatakan valid dan reliabel. Hasil uji coba menunjukkan bahwa intensitas radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam berbanding lurus dengan temperaturnya yang sesuai dengan hukum Stefan-Boltzmann. Selanjutnya, rata-rata persepsi praktikan terhadap alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum yang telah dikembangkan secara berturut-turut adalah 74,92% (baik) dan 80,17% (sangat baik). Hal ini mengindikasikan bahwa alat peraga dan perangkat praktikum yang telah dikembangkan dapat digunakan untuk mendemonstrasikan dan membuktikan konsep-konsep fisika modern yang berhubungan dengan radiasi benda hitam.

Kata kunci: Alat Peraga, Hukum Stefan-Boltzmann, Radiasi Benda Hitam

I. PENDAHULUAN

Radiasi benda hitam merupakan salah satu fenomena yang sangat penting dalam perkembangan fisika kuantum. Max Planck dan Einstein menjadi pelopor dari gagasan quanta berdasarkan fenomena radiasi benda hitam yang pertama kali diselidiki oleh Kirchhoff pada tahun 1860. Dengan menggunakan hukum kedua termodinamika, Kirchhoff menunjukkan bahwa kerapatan total energi (U_T) hanya bergantung pada frekuensi ν dan suhu T dari benda hitam, dan tidak bergantung pada karakteristik lainnya seperti volume, bentuk, dan komposisi material (Tipler & Llewellyn, 2008; Kennedy, 2012; Cheng, 2013).

Kirchhoff kemudian membuktikan bahwa kerapatan energi radiasi benda hitam merupakan fungsi universal. Para Fisikawan mulai berkompetisi untuk merumuskan fungsi tersebut dan mencocokkannya dengan data hasil eksperimen spektrum radiasi benda hitam. Stefan dan Boltzmann menjadi ilmuwan pertama yang berhasil memformulasikan persamaan untuk intensitas total radiasi benda hitam.

$$U(T) = \sigma T^4$$

Dimana σ merupakan konstanta Stefan-Boltzmann. Persamaan tersebut pertama kali diperoleh dari pengamatan eksperimen oleh Josef Stefan, dan kemudian dibuktikan secara teoritis oleh muridnya Ludwig Boltzmann (Boltzmann, 1884).

Penjelasan tentang radiasi benda hitam tidak hanya sampai pada hukum Stefan-Boltzmann. Fisikawan kemudian mencoba memformulasikan kerapatan distribusi radiasi benda hitam, $p(T, \nu)$, mulai dari Wien, Rayleigh-Jeans sampai pada Planck yang akhirnya mampu memberikan formulasi yang memuat semua data radiasi benda hitam dengan sempurna (Planck, 1901). Seperti Planck, Einstein juga memformulasikan distribusi radiasi benda hitam dengan menganalisis entropi radiasi benda hitam (Einstein, 1905). Hal ini memungkinkan Einstein untuk menyatakan bahwa pada frekuensi tinggi, radiasi benda hitam berperilaku seperti gas kuantum dimana setiap kuantum radiasi (pada frekuensi ν) memiliki energi $h\nu$.

Berdasarkan hal tersebut, tampak jelas bahwa radiasi benda hitam merupakan salah satu fenomena yang memicu lahirnya Fisika Modern. Walaupun demikian, beberapa sekolah bahkan Universitas belum mendemonstrasikan eksperimen tersebut karena peralatan yang digunakan secara klasik cukup mahal. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat peraga eksperimen radiasi benda hitam yang murah (*cost-effective*) dan mudah digunakan (*user-friendly*) namun mampu mendemonstrasikan konsep-konsep Fisika modern yang terkait dengan fenomena tersebut dengan benar.

Pada penelitian ini, perangkat praktikum juga dikembangkan sebagai pegangan

praktikan di dalam melaksanakan eksperimen radiasi benda hitam. Perangkat praktikum yang dikembangkan berbasis *modified free inquiry*. Hal ini disebabkan karena beberapa modul praktikum yang digunakan selama ini masih bersifat prosedural. Artinya, modul praktikum tersebut memberikan petunjuk yang sangat lengkap tentang serangkaian prosedur yang dilakukan oleh mahasiswa di dalam membuktikan konsep-konsep yang terkait dengan fisika modern. Praktikan hanya mengikuti serangkaian prosedur kerja dari kegiatan tersebut tanpa membuat mereka berpikir secara logis dan kreatif. Padahal paradigma pendidikan abad 21 sekarang ini menekankan peserta didik untuk dapat bernalar dengan baik (Bancong & Subaer, 2013), berpikir secara kritis dan kreatif di dalam proses pembelajaran (IMLS Office of Strategic Partnerships, 2009; Pacific Policy Research Center, 2010). Selain itu, melalui kegiatan praktikum yang tidak prosedural, keterampilan proses sains mahasiswa dapat meningkat (Bancong & Putra, 2015). Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

- (1) Apakah alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum fisika berbasis *modified free inquiry* yang telah dikembangkan valid dan reliabel?
- (2) Bagaimanakah persepsi praktikan terhadap alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum fisika berbasis *modified free inquiry* yang telah dikembangkan?

II. LANDASAN TEORI

Petunjuk pertama untuk sifat kuantum radiasi berasal dari studi radiasi termal. Semua benda secara simultan memancarkan dan menyerap radiasi. Ketika suhu benda konstan, benda tersebut dikatakan berada dalam kesetimbangan termal dengan lingkungannya. Saat radiasi jatuh pada benda yang buram, sebagian radiasi akan dipantulkan dan sisanya diserap. Benda berwarna terang akan memantulkan sebagian besar radiasi yang mengenainya, sedangkan benda gelap akan menyerap sebagian besar radiasi tersebut.

Sebuah benda yang menyerap semua radiasi yang mengenainya disebut benda hitam (Serway, et al., 2005; Tipler & Llewellyn, 2008). Perkembangan penting dalam upaya memahami karakteristik dari radiasi benda hitam berasal dari fisikawan Austria Josef Stefan (1835 - 1893) pada tahun 1879. Ia menemukan secara eksperimen bahwa total daya per satuan luas yang dipancarkan oleh benda hitam pada semua frekuensi, $U(T)$, sebanding dengan suhu pangkat empatnya. Oleh karena itu, hukum Stefan dapat ditulis sebagai

$$U(T) = \varepsilon \sigma T^4$$

dimana $U(T)$ adalah intensitas yang dipancarkan per satuan luas, T adalah suhu absolut, ε adalah emisitas benda (1 untuk benda hitam), dan $\sigma = 5,6703 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ adalah konstanta yang disebut konstan

Stefan. Hasil ini juga diturunkan berdasarkan termodinamika klasik oleh Ludwig Boltzmann sekitar lima tahun kemudian, sehingga persamaan di atas sekarang disebut hukum Stefan-Boltzmann (Serway et al., 2005; Thornton & Rex, 2013).

Pelaksanaan praktikum fisika sangat penting dalam rangka mendukung pembelajaran dan memberikan penekanan pada aspek proses. Eksperimen fisika secara umum terdiri atas dua jenis, eksperimen secara nyata dilaboratorium (real experiment) dan eksperimen pikiran (thought experiment). Kedua eksperimen ini sama-sama penting dalam rangka perkembangan teori fisika modern (Brown, 1986; Bancong & Song, 2018). Menurut Asri (2008) model praktikum yang hanya mengikuti serangkaian prosedur di penuntun apabila dipertahankan hanya akan membunuh kreativitas siswa karena lebih banyak mengedepankan aspek verbalisme. Oleh karena itu, perangkat praktikum yang dikembangkan berbasis *modified free inquiry*. Artinya, praktikan diberi kebebasan dalam menentukan prosedur dan analisis data. Sedangkan pembimbing berperan sebagai konsultan dalam memberikan bantuan jika diperlukan.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan dengan menggunakan model 4-D yang meliputi tahap pendefinisian (*define*), perencanaan (*design*),

pengembangan (*develop*), dan penyebaran (*disseminate*) (Thiagarajan, et al., 1974). Akan tetapi tahap penyebaran tidak dilakukan dalam penelitian ini. Uji coba penggunaan alat peraga dan perangkat praktikum yang telah dikembangkan dilakukan di Universitas Negeri Makassar dan Universitas Muhammadiyah Makassar.

Tujuan tahap pendefinisian adalah untuk menetapkan dan mendefinisikan syarat-syarat pengembangan alat peraga yang terdiri dari analisis masalah, analisis mahasiswa, dan analisis konsep atau materi. Sedangkan tujuan tahap perencanaan adalah untuk menyiapkan prototipe alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum. Tahap pengembangan bertujuan untuk memperoleh alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum yang valid dan reliabel berdasarkan penilaian ahli dan praktisi.

Data yang diperoleh berdasarkan penilaian ahli dan praktisi, dianalisis dengan melakukan *coding*. Selanjutnya menghitung validitas konten CVR (*Content Validity Ratio*) dan CVI (*Content Validity Index*). Penilaian valid jika CVR atau CVI berada pada kisaran nilai 0 sampai 1 yang didasarkan pada persamaan Lawshe (1975) sebagai berikut.

$$CVR = \frac{n_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad 1)$$

$$CVI = \frac{CVR}{\sum n} \quad 2)$$

n_e : Banyaknya validator yang memberikan nilai esensial (baik atau sangat baik)
N : Jumlah validator

Analisis reliabilitas dilakukan jika semua pernyataan valid. Nilai reliabilitas yang diperoleh dibandingkan dengan nilai reliabilitas tabel. Pernyataan akan dikatakan reliabel jika diperoleh reliabilitas hitung lebih besar daripada reliabilitas tabel.

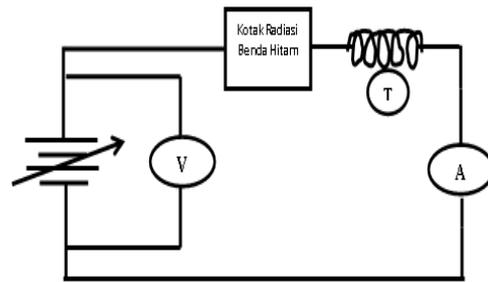
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap Pendefinisian

Berdasarkan hasil analisis masalah, alat peraga eksperimen radiasi benda hitam diputuskan untuk didesain dan dikembangkan. Menurut sejarah, teori fisika modern dimulai dengan permasalahan pada fenomena radiasi benda hitam. Konsep fisika modern yang akan dibuktikan melalui eksperimen ini adalah hukum Stefan-Boltzmann yang menyatakan bahwa intensitas radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam sebanding dengan pangkat empat dari suhu mutlak benda tersebut (Serway et al., 2005; Thornton & Rex, 2013)

Tahap Perancangan

Rancangan alat peraga eksperimen radiasi benda hitam yang akan dikembangkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut



Gambar 1. Rancangan alat peraga eksperimen radiasi benda hitam

Prinsip kerja dari alat peraga tersebut adalah arus akan mengalir dari sumber tegangan masuk ke dalam kotak lubang hitam. Kotak ini berfungsi untuk menyerap dan memancarkan radiasi. Di dalam kotak terdapat kawat nicrom yang akan menyala dan memancarkan radiasi ketika dialiri arus listrik. Energi radiasi yang dipancarkan akan diukur oleh termokopel radiasi yang berada di luar kotak. Panas di tangkap oleh ujung sensor termokopel menjadi pulsa listrik. Semakin panas maka akan semakin banyak elektron yang bergerak dan dihasilkan beda tegangan. Tegangan tersebut dikuatkan pada amplifier sehingga nilainya dapat terbaca pada voltmeter. Oleh karena itu, pada percobaan ini akan diperoleh hubungan antara intensitas radiasi yang diwakili oleh tegangan dengan suhu yang terukur di termokopel. Dengan membuat grafik hubungan antara kedua variable ini maka hukum Stefan-Boltzmann dapat diinterpretasikan.

Selanjutnya, tim peneliti juga merancang perangkat praktikum eksperimen radiasi benda hitam berbasis *modified free inquiry*

dan instrumen persepsi praktikan. Perangkat praktikum digunakan sebagai pegangan praktikan di dalam melaksanakan praktikum. Kemudian, instrumen persepsi praktikan

bertujuan untuk mengetahui respon praktikan sekaligus penilaian terhadap alat peraga yang dikembangkan.

Tahap Pengembangan

Tabel 1. Hasil validasi alat peraga, perangkat praktikum dan instrumen persepsi pada eksperimen radiasi benda hitam

Kategori	Aspek	Persentase (%)				Kriteria
		Validator 1	Validator 2	Validator 3	Rata-rata	
Alat peraga	Materi	78,57	82,14	85,71	82,14	Sangat baik
	Keterlaksanaan praktikum	79,17	79,17	79,17	79,17	Baik
CVI					1	Valid
Reliabilitas					0,99	Reliabel
Perangkat praktikum	Format	85,00	90,00	90,00	88,00	Sangat baik
	Isi	85,00	85,00	80,00	83,33	Sangat baik
	Bahasa	81,25	87,50	81,25	83,33	Sangat baik
	Tampilan fisik	75,00	75,00	83,33	77,78	Baik
CVI					1	Valid
Reliabilitas					0,99	Reliabel
Instrumen persepsi	Petunjuk	100,00	87,50	75,00	87,50	Sangat baik
	Bahasa	81,25	81,25	81,25	81,25	Sangat baik
	Isi	87,50	75,00	75,00	79,17	Baik
CVI					1	Valid
Reliabilitas					0,99	Reliabel

Hasil validasi oleh ahli dan praktisi terhadap alat peraga, perangkat praktikum dan instrumen persepsi praktikan disajikan pada tabel 1. Seperti yang terlihat, alat peraga eksperimen radiasi benda hitam pada aspek materi dan aspek keterlaksanaan praktikum secara berurutan sebesar 82,14% dan 79,17%. Keduanya menunjukkan bahwa alat peraga eksperimen radiasi benda hitam berada pada katagori sangat baik dan baik. Uji validitas konten diperoleh bahwa setiap item pernyataan valid dan diperoleh nilai CVI sebesar 1 yang berarti bahwa alat peraga

yang telah dikembangkan secara keseluruhan dinyatakan valid.

Berdasarkan pernyataan dari setiap aspek maka diperoleh nilai reliabilitas r_{11} sebesar 0,998. Untuk jumlah pernyataan (n) = 13, nilai r tabel sebesar 0,5324 (5%) dan 0,6614 (1%). Karena nilai r hitung lebih besar dibandingkan nilai r tabel untuk taraf kesalahan 5% dan 1% ($0,998 > 0,6614 > 0,5324$), maka hasil penilaian terhadap alat peraga tersebut dinyatakan reliabel.

Selanjutnya, hasil validasi perangkat praktikum radiasi benda hitam berbasis

modified free inquiry memperlihatkan bahwa rata-rata penilaian validator pada aspek format sebesar 88,00% yang menunjukkan bahwa pada aspek tersebut berada pada katagori sangat baik. Begitu pula halnya dengan ketiga aspek lainnya yang berada pada katagori sangat baik dan baik. Hasil uji validitas konten diperoleh bahwa setiap item pernyataan valid dan diperoleh nilai CVI sebesar 1 yang berarti bahwa perangkat praktikum yang telah dikembangkan secara keseluruhan dinyatakan valid.

Berdasarkan pernyataan dari setiap aspek untuk perangkat praktikum maka diperoleh nilai reliabilitas r_{11} sebesar 0,998. Untuk jumlah pernyataan (n) = 17, nilai r tabel sebesar 0,4683 (5%) dan 0,5897 (1%). Karena nilai r hitung lebih besar dibandingkan nilai r tabel untuk taraf kesalahan 5% dan 1% ($0,998 > 0,5897 > 0,4683$), maka hasil penilaian terhadap perangkat praktikum tersebut dinyatakan reliabel.

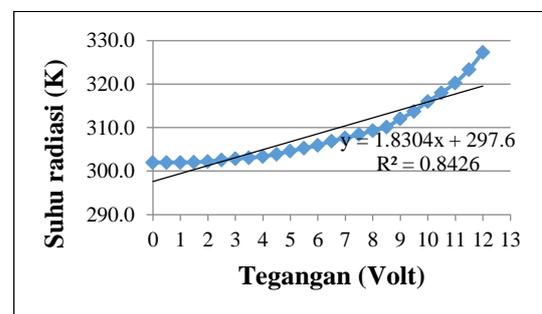
Instrumen persepsi praktikan dimaksudkan untuk memberikan respon dan penilaian terhadap alat peraga dan perangkat praktikum yang dikembangkan. Instrumen ini disusun berdasarkan 3 aspek terkait dengan penggunaan alat peraga. Berdasarkan penilaian validator pada aspek petunjuk diperoleh nilai rata-rata 87,50% yang menunjukkan bahwa pada aspek tersebut berada pada katagori sangat baik. Kemudian pada aspek bahasa dan aspek isi, nilai rata-

rata sebesar 81,25% dan 79,17%. Hasil uji validitas konten diperoleh bahwa setiap item pernyataan valid dan diperoleh nilai CVI sebesar 1 yang berarti bahwa instrumen tersebut secara keseluruhan dinyatakan valid.

Kemudian, berdasarkan pernyataan dari setiap aspek pada instrumen persepsi maka diperoleh nilai reliabilitas r_{11} sebesar 0,998. Untuk jumlah pernyataan (n) = 10, nilai r tabel sebesar 0,6021 (5%) dan 0,7348 (1%). Karena nilai r hitung lebih besar dibandingkan nilai r tabel untuk taraf kesalahan 5% dan 1% ($0,998 > 0,7348 > 0,6021$), maka hasil penilaian terhadap instrumen persepsi praktikan tersebut dinyatakan reliabel.

Uji Coba

Hubungan antara intensitas radiasi yang dipancarkan (diwakili oleh tegangan) dengan suhu radiasi benda hitam berdasarkan data hasil uji coba dapat dilihat pada gambar 2.



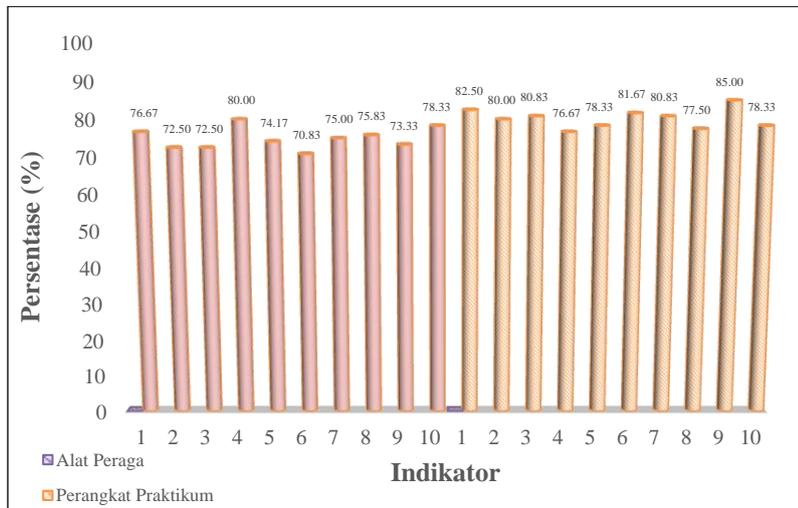
Gambar 2. Grafik hubungan antara intensitas radiasi dan suhu radiasi benda hitam.

Grafik pada gambar 2 memperlihatkan bahwa terdapat hubungan yang positif antara intensitas radiasi yang diwakili oleh tegangan

dan suhu radiasi benda hitam. Sebagaimana diketahui bahwa tegangan yang dihasilkan oleh sensor sebanding dengan radiasi yang mengenai detektor dikurangi radiasi yang meninggalkannya. Grafik menunjukkan bahwa jika tegangan diperbesar maka suhu radiasi juga ikut membesar, begitu juga sebaliknya. Hal ini sesuai dengan hukum Stefan – Boltzmann yang menyatakan bahwa radiasi total yang dipancarkan oleh sebuah benda hitam sebanding dengan naiknya suhu mutlak pangkat 4. Oleh karena itu, secara umum dapat disimpulkan bahwa alat peraga eksperimen radiasi benda hitam yang telah dikembangkan dapat digunakan sebagai salah satu alternatif alat peraga eksperimen fisika modern.

Selanjutnya, penilaian persepsi praktikan dilakukan pada akhir melakukan eksperimen.

Praktikan diberikan koesioner yang terdiri dari 20 pernyataan yang mangacu pada persepsi terhadap alat peraga dan persepsi terhadap perangkat praktikum. Persepsi praktikan terhadap alat peraga sebesar 74.92%. Hal ini menunjukkan bahwa praktikan memiliki persepsi yang baik terhadap alat peraga yang telah dikembangkan. Kemudian, persentase rata-rata persepsi praktikan terhadap perangkat praktikum sebesar 80.17%. Hal ini menunjukkan bahwa praktikan memiliki persepsi yang sangat baik terhadap perangkat praktikum yang telah dikembangkan. Persentase persepsi praktikan terhadap alat peraga dan perangkat praktikum yang telah dikembangkan untuk setiap indikator disajikan pada diagram batang pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram batang persentase praktikan terhadap alat peraga dan perangkat praktikum eksperimen radiasi benda hitam yang telah dikembangkan

V. PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan hasil validasi oleh ahli dan praktisi, alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum fisika berbasis *modified free inquiry* yang telah dikembangkan memenuhi kriteria valid dan reliabel. Sehingga alat peraga ini dapat digunakan untuk mendemonstrasikan dan membuktikan konsep-konsep fisika modern yang berhubungan dengan radiasi benda hitam.
- 2) Persepsi mahasiswa terhadap alat peraga eksperimen radiasi benda hitam dan perangkat praktikum fisika berbasis *modified free inquiry* yang telah dikembangkan secara rata-rata sebesar 74.92% (kategori baik) dan 80.17% (kategori sangat baik).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Ristekdikti) Republik Indonesia melalui skema Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (PEKERTI) dengan nomor kontrak 1492/K9/KT.03/2017, 17 Maret 2017.

PUSTAKA

- [1] Asri, W. (2008). Peningkatan Kemampuan Divergent Thinking dengan Menerapkan Pendekatan MFI dalam Pembelajaran Sains. *Jurnal Pendidikan dan Evaluasi Pendidikan*, 10(1), 112-120
- [2] Bancong, H., & Subaer. (2013). Profil Penalaran Logis Berdasarkan Gaya Berpikir dalam Memecahkan Masalah Fisika Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 2(2), 195-202.
- [3] Bancong, H., Putra, D. P. (2015). Analisis Proses Keterampilan Proses Sains Mahasiswa Berdasarkan Gaya Berpikir Dan Kecerdasan Jamak Pada Praktikum Fisika Modern Di Universitas Muhammadiyah Makassar. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(1), 27-33.
- [4] Bancong, H., & Song, J. (2018). Do Physics Textbooks Present the Ideas of Thought Experiments? A Case in Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(1), 25-33.
- [5] Boltzmann, L. (1884). Derivation of Stefan's law on the temperature dependence of the thermal radiation from the electromagnetic theory of light. *Annalen der Physik und Chemie* 22, 291
- [6] Brown, J. R. (1986). Thought experiments since the scientific revolution. *International Studies in the Philosophy of Science*, 1(1), 1-15.
- [7] Cheng, T. (2013). *Einstein's Physics: Atom, Quanta, Relativity Derived, Explained, and Appraised*. United Kingdom: Oxford University Press.
- [8] Einstein, A. (1905). On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light. *Annalen der Physik* 4 (17), 132–148.
- [9] IMLS Office of Strategic Partnerships. (2009). *Museums, Libraries, and 21st Century Skills*. Washington: Institute of Museum and Library Services.
- [10] Kennedy, R. E. (2012). *A Student's Guide to Einstein's major Papers*.

- [11] United Kingdom: Oxford University Press.
- [12] Lawshe, C. H. (1975). A Quantitative Approach to Content Validity. *Personnel Psychology*, 28, 563-575.
- [13] Pacific Policy Research Center. (2010). *21st Century Skill for Students and Teachers*. Honolulu: Kamehameha Schools, Research & Evaluation Division.
- [14] Planck, M. (1901). On the Law of the Energy Distribution in the Normal Spectrum. *Annalen der Physik* 4 (553), 1-11.
- [15] Serway, R. A., Moses, C. J., & Moyer, C. A. (2005). *Modern Physics: Third Edition*. United Kingdom: Thomson Learning.
- [16] Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). *Instructional development for training teachers of exceptional children: A sourcebook*. Bloomington: Indiana University
- [17] Thornton, S. T., & Rex, A. (2013). *Modern Physics for Scientists and Engineers*. Boston: Cengage Learning
- [18] Tipler, A., & Llewellyn, R. A. (2008). *Modern Physics: Fifth Edition*. New York: W. H. Freeman and Company.