

## PENGEMBANGAN PERANGKAT KONVERSI ENERGI PANAS MENJADI ENERGI LISTRIK

Selamat Ependi\*, Nengah Maharta, Eko Suyanto  
Pendidikan Fisika FKIP Unila, Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung  
\*e-mail: selamatependi@gmail.com

**Abstract:** *The Development of Thermal Energy into Electrical Energy Converter Device.* The purpose of this developmental research was to elaborate a thermal energy into electrical energy converter device with the user manual for physics learning of electrical energy resources. The method of this research was research and development (R & D) based on Suyanto, the steps that conducted comprise of need analysis, identification of sources power, identification of product specifications, product development, product testing, and the final production. Based on the test result, it was known that product has specifications: the correlatoin sensitivity of raising the temperature to the voltage is  $0.702 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ; to the electrical current is  $0.035 \text{ mA}/^\circ\text{C}$ ; and to the electrical power is  $10.927 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ . The results of the feasibility test of thermal energy into electrical energy converter device with the user manual showed that the product is proper to use by the score of 3.692 on the physical eligibility test and 2.667 on the test design experts.

**Abstrak:** **Pengembangan Perangkat Konversi Energi Panas menjadi Energi Listrik.** Tujuan penelitian pengembangan ini adalah mengembangkan alat konversi energi panas menjadi energi listrik beserta petunjuk penggunaannya untuk pembelajaran fisika materi sumber energi listrik. Metode penelitian ini adalah penelitian dan pengembangan menurut Suyanto, tahapan yang dilakukan meliputi analisis kebutuhan, identifikasi sumber daya, identifikasi spesifikasi produk, pengembangan produk, uji produk, dan produksi akhir. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, diketahui spesifikasi produk yaitu: sensitivitas hubungan antara peningkatan suhu terhadap tegangan sebesar  $0,702 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ; terhadap arus listrik sebesar  $0,035 \text{ mA}/^\circ\text{C}$ ; dan terhadap daya listrik sebesar  $10,927 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ . Hasil Uji kelayakan alat konversi energi panas menjadi energi listrik dan *user manual* menyatakan bahwa produk layak untuk digunakan dengan skor 3,692 pada uji kelayakan fisik dan skor 2,667 pada uji ahli desain.

**Kata kunci:** *energi listrik, energi panas, konversi energi, pengembangan.*

### PENDAHULUAN

Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), dikembangkan oleh manusia dengan tujuan untuk memahami gejala alam. Rasa keingintahuan para ilmuwan mendorong untuk melakukan proses penyelidikan ilmiah hingga ditemukan suatu jawaban yang kemudian menjadi produk sains, seperti konsep, prinsip, teori dan hukum. Fatonah (2014: 43) menyatakan fisika sebagai bagian dari IPA mengkaji perilaku, struktur dan interaksi benda secara empirik, oleh sebab itu dalam pembelajaran fisika seharusnya dimulai dengan pengamatan yang melibatkan fenomena dan gejala alam yang berkaitan dengan

materi fisika yang diajarkan. Akan tetapi, masih ada pembelajaran fisika dilakukan dengan cara tekstual, dengan meminta siswa menghafal rumus-rumus yang ada di dalam buku. Hal ini menyebabkan tugas belajar siswa menjadi lebih berat karena menitik-beratkan pada konsep dan mengesampingkan fakta. Akibatnya siswa kehilangan kesempatan untuk memperoleh pengalaman belajar secara empirik, dan pembelajaran fisika menjadi kurang menarik.

Salah satu strategi belajar yang dapat memberikan pengalaman empirik kepada siswa dalam belajar fisika adalah dengan metode praktikum.

Metode praktikum merupakan metode pembelajaran yang berpusat pada peserta didik, dengan peran guru lebih sebagai fasilitator daripada mengajar langsung. Dalam strategi pembelajaran yang berpusat pada peserta didik, guru menempatkan perhatian lebih banyak pada keterlibatan, inisiatif dan interaksi sosial peserta didik. Melalui praktikum peserta didik dapat mempelajari sains dan pengalaman langsung terhadap gejala-gejala alam, dapat melatih keterampilan berpikir ilmiah, serta dapat menanamkan sikap ilmiah.

Menurut Siahaan dan Suyana (2010: 3), Pentingnya metode praktikum menuntut guru mengoptimalkan fungsinya. Yaitu sebagai; (1) fasilitator untuk mengembangkan kemampuan merencanakan, mengembangkan, menggunakan, dan mengelola; serta (2) Motivator, untuk mengembangkan kemampuan menunjukkan fenomena aktual dan konseptual, merangsang dan mengarahkan keingintahuan siswa, dan memelihara keingintahuan siswa.

Peralatan praktikum untuk kepentingan pembelajaran fisika tersedia dalam bentuk Kotak Instrumentasi Terpadu (KIT). Pada kenyataannya KIT yang lengkap tidak dimiliki oleh setiap sekolah, terutama untuk sekolah-sekolah yang terletak di daerah.

Materi konversi energi panas menjadi energi listrik sebagai salah satu solusi keterbatasan materi sumber energi listrik sangat diperlukan dalam pembelajaran fisika. Hal ini diperlukan untuk memperkaya pengetahuan siswa tentang sumber energi listrik selain energi kimia, nuklir, dan matahari. Dengan memahami materi tersebut siswa mempunyai peluang yang lebih besar untuk mencari alternatif sumber energi listrik di dalam kehidupan mereka sehari-hari.

Menurut Culp (1996: 386) operasi konverter termoelektrik tergantung pada efek Seebeck, efek Peltier dan efek Thomson. Efek Seebeck ditemukan pada tahun 1822 oleh ahli ilmu alam Jerman, Thomas J. Seebeck. Menurut Seebeck, sebuah voltase timbul dalam sirkuit dari dua material yang tidak sama jika kedua simpangan ini dijaga pada temperatur yang berbeda.

Efek Peltier ditemukan pada tahun 1844 oleh ahli ilmu alam Perancis, J.C.A. Peltier. Efek Peltier menyebutkan bahwa jika suatu arus searah dialirkan pada suatu rangkaian yang terdiri dari material yang berbeda, salah satu simpangan logam yang tidak sama tersebut akan dipanaskan dan lainnya akan didinginkan. Ini adalah kebalikan dari efek Seebeck dan juga dapat-balik, yaitu jika aliran arus berlawanan, material yang tadinya dipanaskan akan didinginkan dan yang tadinya didinginkan akan terbalik dipanaskan (Culp, 1996: 387).

Efek Thomson ditemukan pada tahun 1854 oleh ahli ilmu alam Inggris, William Thomson (Lord Kelvin). Efek ini menyatakan bahwa terdapat penyerapan atau pelepasan panas bolak-balik dalam konduktor homogen yang terkena perbedaan panas dan perbedaan listrik secara simultan (Culp, 1996: 387).

Menurut Sutjahja (2011: 2) bahan termoelektrik adalah bahan unik yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya, tanpa menghasilkan gas beracun karbondioksida maupun polutan lain seperti elemen logam berat. Sedangkan menurut Putra (2009: 2) termoelektrik dipengaruhi oleh dua efek, yaitu efek seebeck dan efek peltier.

Ramdini (2014: 3) menjelaskan konsep seebeck sebagai efek dari dua buah material logam yang tersambung

berada di lingkungan dengan dua temperatur berbeda, maka di material tersebut akan mengalir arus listrik atau gaya gerak listrik. Sedangkan efek peltier adalah kebalikan dari efek seebeck apabila dua buah logam direkatkan kemudian dialirkan listrik maka di antara kedua sisi logam tersebut terjadi gradien suhu.

Berdasarkan sifat-sifat yang dimiliki, dalam perkembangannya elemen termoelektrik menurut Sukur (2011: 4) terbagi menjadi dua jenis berdasarkan kegunaannya. Bahan termoelektrik sebagai pendingin yaitu *Thermoelectric Cooler* dan sebagai pembangkit listrik atau generator, *Thermoelectric Generator*.

Levy (2013: 71) menjelaskan *Thermoelectric cooler* atau TEC adalah komponen elektronika yang menggunakan efek Peltier untuk membuat aliran panas (*heat flux*) pada percabangan (*junction*) antara dua jenis material yang berbeda. Komponen ini bekerja sebagai pompa panas aktif dalam bentuk padat yang memindahkan panas dari satu sisi ke sisi permukaan lainnya yang berseberangan, dengan konsumsi energi elektrik tergantung pada arah aliran arus listrik. Sedangkan *Thermoelectric generator* atau TEG adalah suatu pembangkit listrik yang didasarkan pada efek seebeck. Struktur TEG yang terdiri dari suatu susunan elemen tipe-*n* (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-*p* (material dengan kekurangan elektron). Panas masuk pada satu sisi dan dibuang dari sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik. Besarnya tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur.

Rohani (2009: 4) menjelaskan bahwa ada empat pola belajar anak didik. Pola pertama, anak didik hanya menggunakan sumber belajar berupa

orang. Guru sebagai pengajar memegang kendali penuh terhadap kegiatan belajar mengajar. Pola kedua, anak didik dibantu oleh bahan/ sumber belajar lain yang berfungsi sebagai alat bantu atau alat peraga, guru masih memegang kendali namun tidak mutlak. Pola ketiga, anak didik menggunakan sumber belajar orang dan sumber belajar lain berdasarkan suatu pembagian tanggung jawab. Sumber belajar lain itu merupakan bagian integral dari keseluruhan kegiatan belajar dan disebut sebagai media. Pola keempat, anak didik hanya menggunakan sumber belajar bukan manusia (media). Berdasarkan penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa suatu sumber belajar dikatakan alat peraga jika fungsinya hanya sebagai alat bantu saja, namun dikatakan media jika merupakan bagian integral dari seluruh kegiatan belajar dan ada pembagian tanggung jawab antara guru dan sumber belajar lain. Disimpulkan perbedaan antara media dan alat peraga terletak pada fungsinya bukan pada substansinya.

Bueche (2006: 143) menjelaskan energi termal atau kalor adalah energi yang mengalir dari benda yang satu ke benda yang lain karena perbedaan suhu. Kalor selalu berpindah dari benda yang panas ke benda yang dingin. Agar kedua benda yang saling bersentuhan tersebut berada dalam keadaan termal yang seimbang (yakni ada perpindahan kalor antara kedua benda), suhu kedua benda haruslah sama. Jika benda pertama dan benda kedua berada dalam keadaan setimbang termal dengan benda ketiga, maka kedua benda pertama berada dalam keadaan seimbang termal. (pernyataan ini sering disebut hukum ke-nol termodinamika).

Culp (1996: 4) menjelaskan energi listrik adalah jenis energi yang berkaitan dengan arus dan akumulasi

elektron. Energi jenis ini umumnya dinyatakan dalam satuan daya dan waktu, misalnya watt-jam atau kilowatt-jam. Bentuk transisional dari energi listrik adalah aliran elektron, biasanya melalui konduktor dari jenis tertentu. Energi listrik dapat disimpan sebagai energi medan elektrostatik atau sebagai energi medan induksi. Energi medan elektrostatik adalah energi yang berkaitan dengan medan listrik yang dihasilkan oleh terakumulasi muatan (elektron) pada pelat-pelat kapasitor. Energi medan induksi, yang kadang-kadang disebut energi medan elektromagnetik, adalah energi yang berkaitan dengan medan magnet yang timbul akibat aliran elektron yang melalui kumparan induksi. Energi listrik adalah untuk energi yang sangat terpakai Karena ia dapat dengan mudah dan efisien dikonversi menjadi bentuk energi yang lain.

TEC 12706 sebagai salah satu produk termoelektrik yang tersedia di pasaran, memiliki kemampuan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya. Oleh karena itu peneliti mengembangkan termometer digital dengan memanfaatkan TEC 12706 sebagai termometer alternatif yang dapat digunakan untuk keperluan pembelajaran.

## **METODE**

Metode penelitian ini yaitu *research and development* atau penelitian pengembangan. Pengembangan yang dilakukan adalah pembuatan termometer berbasis termoelektrik beserta petunjuk penggunaan (*user manual*).

Penelitian ini menggunakan metode penelitian yang mengacu pada prosedur pengembangan media intruksional pembelajaran menurut Suyanto (2009: 322). Penulis memilih

prosedur pengembangan menurut Suyanto (2009: 322) karena penulis menilai metode ini praktis dan efektif dalam penerapannya untuk mengembangkan produk konverter energi. Produk yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi solusi keterbatasan perangkat peragaan perubahan energi panas menjadi energi listrik sehingga dapat membantu siswa untuk mendalami perilaku perubahan energi panas menjadi energi listrik.

Model pengembangan tersebut meliputi enam prosedur pengembangan produk dan uji produk, yaitu; (1) analisis kebutuhan; (2) identifikasi sumber daya untuk memenuhi kebutuhan; (3) identifikasi spesifikasi produk yang diinginkan pengguna; (4) pengembangan produk; (5) uji produk; dan (6) produksi. Teknik Analisis data angket pada penelitian ini adalah dengan cara menganalisis angket uji ahli desain, menganalisis angket kelayakan dan keterpenuhan spesifikasi produk yang dikembangkan. Angket uji validasi ahli digunakan untuk menguji kesesuaian isi pada produk, yaitu konverter energi panas menjadi energi listrik beserta petunjuk penggunaan. Instrumen penilaian uji ahli desain dan kelayakan fisik, memiliki 2 pilihan jawaban sesuai konten pertanyaan, yaitu “ya” dan “tidak”. Uji spesifikasi produk untuk menguji apakah spesifikasi produk konverter energi telah terpenuhi sesuai dengan telah diidentifikasi sebelumnya dilakukan dengan cara menganalisa data hasil pengukuran menggunakan konverter yang telah dikembangkan dan mengacu pada *datasheet* termoelektrik yang digunakan. Uji yang kenakan yaitu untuk mengetahui hubungan peningkatan suhu terhadap peningkatan arus, tegangan, dan daya listrik. Selain itu uji juga digunakan untuk mengetahui peningkatan jumlah

termoelektrik yang digunakan terhadap peningkatan arus, tegangan, dan daya listrik, baik dirangkai secara seri maupun secara paralel.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil utama dari pengembangan ini adalah berupa alat konversi energi panas menjadi energi listrik yang dilengkapi dengan *user manual*. Secara rinci hasil dari setiap tahapan prosedur pengembangan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

Analisis kebutuhan dilakukan dengan menganalisis LKS dan buku siswa SMA kelas XII Semester genap. Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa belum ada materi konversi energi panas menjadi listrik secara rinci sehingga diperlukan perangkat yang dapat membantu siswa untuk mendalami perilaku perubahan panas menjadi listrik, kegiatan dilanjutkan dengan mencari solusi untuk masalah tersebut. Pada tahap ini ditemukan bahan termoelektrik tipe TEC 12706 dengan spesifikasi yang memungkinkan untuk mengembangkan alat konversi energi panas menjadi listrik dengan menerapkan sifat termoelektrik.

Untuk memenuhi analisis kebutuhan yang telah diungkapkan sebelumnya, dilakukan pengukuran awal untuk mengetahui kinerja TEC 12706 dan sebagai landasan desain alat konversi yang akan dikembangkan. Pada tahap identifikasi sumber daya ini untuk melihat kemungkinan pengembangan alat konversi energi panas menjadi energi listrik beserta *user manual* sebagai salah satu alternatif dan pelengkap pembelajaran materi sumber energi listrik. Berdasarkan hasil observasi terhadap kinerja alat termoelektrik TEC 12706, diperoleh bahwa TEC 12706 memiliki

kemampuan sebagai konverter, yaitu mengubah energi panas menjadi energi listrik. Perbedaan suhu antara kedua sisi TEC 12706 menghasilkan arus listrik searah dengan nilai tertentu apabila. Berdasarkan sifat itulah maka memungkinkan untuk mengembangkan alat konversi energi panas menjadi energi listrik sebagai solusi keterbatasan alat konversi energi panas menjadi listrik sebagai salah satu alternatif sumber energi listrik.

Setelah melakukan dua tahap sebelumnya, didasari oleh analisis kebutuhan dan identifikasi sumber daya ditentukan bahwa produk yang akan dikembangkan yaitu alat konversi energi panas menjadi energi listrik beserta *user manual*.

Berdasarkan ketersediaan sumber daya yang dimiliki, teridentifikasi produk yang akan dikembangkan dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 1 dan Tabel 2.

Tahap selanjutnya adalah pengembangan produk. Pengembangan produk dilakukan dengan pembuatan alat konversi energi panas menjadi energi listrik untuk materi sumber energi listrik beserta *user manual*. Pembuatan konverter didasari pada langkah pembuatan produk yang telah direncanakan, meliputi pengembangan: (1) bagian input konverter; (2) bagian inti konverter; (3) rangkaian seri-paralel; dan (4) rangkaian multimeter.

Setelah alat konversi energi panas menjadi energi listrik dibuat maka selanjutnya akan dilakukan percobaan menggunakan alat tersebut untuk mengetahui spesifikasi alat. Hasil data dari percobaan yang dilakukan kemudian digunakan untuk mengidentifikasi pengujian spesifikasi dan kinerja alat.

**Tabel 1.** Identifikasi Spesifikasi Konverter

No.	Aspek	Deskripsi	Spesifikasi
1.	Bagian input	Pada bagian ini terdiri dari wadah air untuk sisi dingin dan sisi panas komponen konverter. Masing-masing wadah dilengkapi dengan termometer air raksa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat menunjukkan hasil pengukuran suhu, yaitu 0 °C pada sisi dingin konverter dan 25-90 °C pada sisi panas konverter dengan interval 5 °C</li> <li>• Peningkatan suhu pada wadah bagian panas menggunakan waktu yang tidak terlalu lama</li> </ul>
2.	Bagian konverter	Bagian ini merupakan komponen inti pada alat yang akan dikembangkan, tersusun dari delapan buah TEC yang dapat dirangkai baik secara seri maupun paralel.	Mampu menghasilkan daya listrik.
3.	Bagian output	Bagian ini terdiri dari rangkaian seri-paralel dan multimeter. Rangkaian multimeter terdiri dari voltmeter dan amperemeter yang dirancang untuk mengukur tegangan dan arus listrik secara bergantian.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rangkaian seri-paralel dapat mempermudah ketika akan merangkai TEC, baik secara seri maupun paralel.</li> <li>• Dapat menampilkan besarnya tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh konverter.</li> </ul>

**Tabel 2.** Identifikasi Spesifikasi *User Manual*

No.	Spesifikasi
1.	Memberikan informasi tentang alat konversi energi panas menjadi energi listrik
2.	Memberikan petunjuk perawatan alat
3.	Memberikan petunjuk penggunaan alat saat melakukan pengukuran

Pengembangan selanjutnya adalah *user manual* sebagai kelengkapan konverter energi disusun setelah konverter energi selesai dibuat. Bagian-

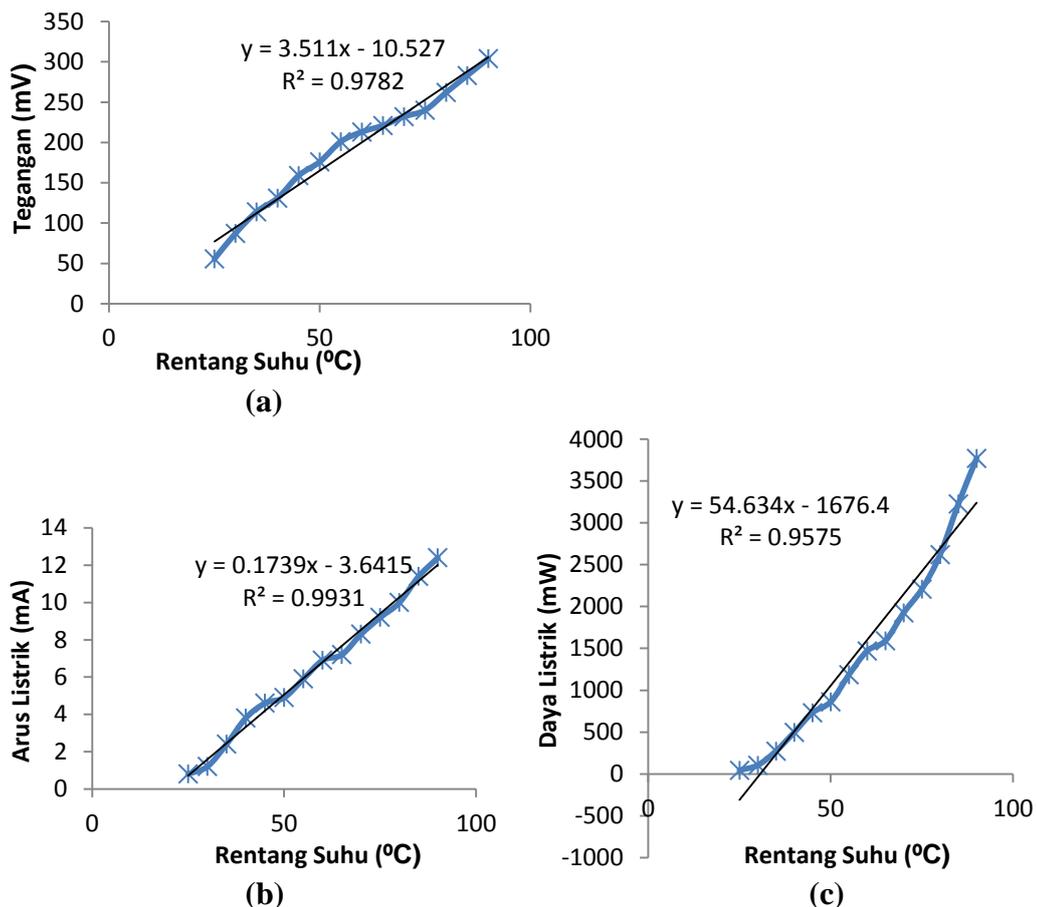
bagian *user manual* meliputi: (1) sampul; (2) kata pengantar; (3) spesifikasi alat; (4) petunjuk perawatan; (5) prosedur penggunaan; dan (6) tabel data hasil pengukuran.

Pada tahap selanjutnya yaitu uji produk, merupakan uji kelayakan alat konversi energi panas menjadi energi listrik disertai *user manual* yang telah dikembangkan. Kelayakan alat konversi energi panas menjadi energi listrik diuji keterpenuhan spesifikasinya melalui serangkaian pengukuran suhu, tegangan dan arus listrik. Data yang di peroleh kemudian digunakan untuk menganalisa kinerja alat konversi energi panas menjadi energi listrik.

Hasil pengukuran untuk menguji keterpenuhan spesifikasi produk dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan grafik pada Gambar 1 diperoleh spesifikasi dari alat konversi energi panas menjadi energi listrik sebagai berikut: (1) hubungan antara peningkatan suhu dan tegangan dapat didefinisikan dengan persamaan garis lurus  $y = 3,511x + 10,527$  dengan  $y$  adalah nilai besaran tegangan,  $x$  besaran suhu dan 3,511 adalah nilai sensitivitas perubahan suhu terhadap perubahan tegangan setiap kenaikan rentang suhu 5 °C; (2) hubungan antara peningkatan suhu dan arus listrik dapat didefinisikan dengan persamaan garis

lurus  $y = 0,1739x + 3,6415$  dengan  $y$  adalah nilai besaran arus listrik,  $x$  besaran suhu dan 3,6415 adalah nilai sensitivitas perubahan suhu terhadap perubahan arus listrik setiap kenaikan rentang suhu 5 °C; dan (3) hubungan antara peningkatan suhu dan daya listrik dapat didefinisikan dengan persamaan garis lurus  $y = 54,634x + 1676,4$  dengan  $y$  adalah nilai besaran daya listrik,  $x$  besaran suhu dan 1676,4 adalah nilai sensitivitas perubahan suhu terhadap perubahan daya listrik setiap kenaikan rentang suhu 5 °C.



**Gambar 1.** Grafik Data Hasil Pengukuran; (a) Hubungan Suhu dan Tegangan; (b) Hubungan Suhu dan Arus Listrik; (c) Hubungan Suhu dan Daya Listrik.

**Tabel 3.** Hasil Uji Kelayakan Fisik

No.	Aspek Penilaian	Saran Perbaikan
1	Bentuk Fisik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desain suatu peraga yang dapat menampilkan secara jelas proses konversi energi panas menjadi energi listrik.</li> <li>• Dapat didesain alat peraga yang langsung dapat digunakan untuk mengkonversi energi panas bumi/ alami.</li> </ul>

**Tabel 4.** Hasil Uji Ahli Desain *User Manual*

No.	Aspek Penilaian	Perbaikan
1	Desain	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengganti gambar konverter dengan foto asli.</li> </ul>
2	Tipografi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengubah jenis, ukuran, warna dan proporsi huruf sehingga serasi dan proporsional.</li> </ul>
3	Ilustrasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyisipkan foto para tahap persiapan pengukuran.</li> </ul>

Pada uji kelayakannya oleh ahli desain dan fisik hasilnya menyatakan bahwa produk konverter energi panas menjadi energi listrik dan disertai *user manual* layak digunakan sebagai pelengkap perangkat pembelajaran fisika materi sumber energi listrik dengan skor 3,69 pada uji kelayakan fisik dan skor 2,67 pada uji ahli desain dengan perbaikan seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4. Setelah mengalami uji spesifikasi dan uji kualitas produk, maka prototipe I telah mendapat saran-saran perbaikan dari ahli materi dan ahli desain dan telah dihasilkan prototipe II. Produk akhir hasil pengembangan berupa konverter energi panas menjadi energi listrik dan disertai *user manual*.

Alat konversi energi panas menjadi energi listrik merupakan alat konversi yang menggunakan termoelektrik jenis TEC 12706 sebagai komponen dasarnya. Konsep utamanya adalah ketika terjadi perbedaan suhu antara kedua sisi TEC maka akan menimbulkan arus listrik yang akan meningkat seiring dengan peningkatan rentang suhu antara kedua sisi TEC.

Bagian sisi dingin TEC direkatkan dengan wadah yang dapat diisi air dingin. Wadah tersebut dilapisi dengan steroform untuk menjaga agar suhu air yang di dalam wadah tidak berubah drastis. Bagian tutup wadah diberi lubang untuk meletakkan termometer air raksa. Wadah air dingin diberi pecahan es sekitar 1 liter. Pengukuran dilakukan ketika suhu es 0 °C.

Bagian sisi panas TEC direkatkan dengan *heatsink* yang berfungsi untuk menyerap panas air. *Heatsink* yang sudah direkatkan ke TEC kemudian dicelupkan ke dalam wadah. Suhu minimal air pada sisi bagian panas ini adalah 25 °C. Berdasarkan *datasheet* TEC 12706 yang digunakan, rentang suhu maksimal TEC 12706 adalah 66 °C sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu maksimal penggunaan TEC 12706 adalah 91 °C. Namun karena pengukuran dilakukan setiap kelipatan 5 °C maka suhu maksimal yang diukur adalah 90 °C.

Pada desain awal pengembangan, volume es pada wadah sisi dingin TEC adalah 1 liter dan pada sisi panasnya 5 liter. Pemanasan air pada sisi panas menggunakan satu buah pemanas air

sehingga waktu yang diperlukan untuk meningkatkan suhunya dari 25 °C menjadi 90 °C adalah 120 menit. Untuk mengatasi masalah waktu pemanasan air yang terlalu lama, maka wadah pada bagian sisi panas air diperkecil sehingga volume air menjadi 2,2 liter. Selain itu pemanas air juga dibuat menjadi dua buah pemanas yang dipasang secara paralel. Waktu yang diperlukan untuk meningkatkan suhu air setelah mengalami perbaikan alat adalah 20 menit.

Pada uji produk, spesifikasi diperoleh melalui serangkaian percobaan, yaitu dengan mengukur rentang suhu kedua sisi TEC, kemudian mengukur keluaran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan. Dari analisis data hasil pengukuran diketahui bahwa kinerja bahan termoelektrik sangat dipengaruhi oleh  $\Delta T$ , semakin besar nilai  $\Delta T$  maka semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan. Selain itu juga dapat disimpulkan bahwa rangkaian seri TEC menghasilkan peningkatan tegangan listrik dan rangkaian paralel TEC menghasilkan peningkatan arus listrik.

Berdasarkan data analisis hasil pengukuran dapat diketahui bahwa: (1) Setiap peningkatan rentang suhu akan menghasilkan peningkatan tegangan dan arus listrik; (2) Pada rangkaian seri, peningkatan jumlah TEC menghasilkan peningkatan tegangan listrik sedangkan arus listrik yang dihasilkan relatif sama besar; dan (3) Pada rangkaian paralel, peningkatan jumlah TEC menghasilkan peningkatan arus listrik sedangkan tegangan listrik yang dihasilkan relatif sama besar. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Wijaya (2014: 9) yang terangkum pada jurnalnya yang berjudul “Pengaruh Rangkaian Seri - Paralel Sel Peltier dan

Beda Temperatur terhadap Daya Listrik yang Dihasilkan Sel Peltier”.

Kelebihan alat konversi energi panas menjadi energi listrik di antaranya adalah: (1) Merupakan solusi untuk mengamati perilaku perubahan energi panas menjadi energi listrik; (2) produk hasil pengembangan dapat digunakan sebagai penuntun belajar bagi siswa secara kelompok, baik dengan menerapkan metode eksperimen atau demonstrasi; dan (3) produk dapat digunakan untuk memberi pengalaman belajar secara langsung kepada siswa.

Kekurangan produk ini di antaranya adalah: (1) Penggunaannya membutuhkan sumber arus listrik PLN sehingga ketika listrik padam pengukuran tidak bisa dilakukan; (2) pengukuran membutuhkan es batu, sehingga konverter tidak bisa digunakan secara maksimal di tempat-tempat tertentu yang sulit didapatkan es batu; dan (3) produk ini juga menghasilkan energi listrik yang tergolong kecil sehingga proses perubahan energi panas menjadi energi listrik hanya bisa terlihat menggunakan alat ukur, tidak bisa terlihat secara kasat mata.

## SIMPULAN

Simpulan dari pengembangan ini adalah: (1) dihasilkan sebuah produk berupa konverter energi panas menjadi energi listrik dan disertai petunjuk penggunaan (*user manual*) yang dapat digunakan untuk mengamati perilaku perubahan energi panas menjadi energi listrik sebagai solusi keterbatasan sumber energi listrik untuk pembelajaran materi sumber energi listrik; (2) Produk konverter energi panas menjadi energi listrik dan disertai petunjuk penggunaan layak digunakan sebagai pelengkap perangkat pembelajaran fisika materi sumber

energi listrik dengan skor 3,69 pada uji kelayakan fisik dan skor 2,67 pada uji ahli desain; (3) Konverter energi yang dihasilkan memiliki spesifikasi sensitivitas hubungan antara peningkatan suhu terhadap peningkatan tegangan sebesar 0,7022 mV/°C; sensitivitas hubungan antara peningkatan suhu terhadap peningkatan arus listrik sebesar 0,03478 mA/°C; sensitivitas hubungan antara peningkatan suhu terhadap peningkatan daya listrik sebesar 10,9268 mW/°C; volume wadah sisi dingin konverter adalah 1 liter; volume wadah sisi panas konverter adalah 2,2 liter; suhu sisi dingin konverter adalah 0 °C; dan suhu sisi panas konverter berada pada rentang dari 25 °C hingga 90 °C; dan (4) Peningkatan jumlah TEC secara seri menghasilkan peningkatan tegangan dan arus listrik yang relatif sama besar, sedangkan peningkatan jumlah TEC secara paralel menghasilkan peningkatan arus listrik dan tegangan yang relatif sama besar.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Bueche , Frederick J., Eugene Hecht. 2006. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.
- Culp , Archie W.1996. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta: Erlangga.
- Fatonah, Siti dan Prasetyo. 2014. *Pembelajaran Sains*. Yogyakarta: Penerbit Ombak.
- Levy, George. 2013. Thermoelectric Effect Under Adiabatic Conditions. *Entropy Journal*. (Online), Volume 14, No. 71. (<http://www.mdpi.com/1099-4300/14>), diakses 29 April 2015.
- Putra, Nandy. 2009. Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik untuk Kendaraan Hybrid. *Jurnal Makara Teknologi*. (Online), Volume 13, No. 2, (<http://www.journal.ui.ac.id>), diakses 20 Mei 2015.
- Ramdini, Intan D.N. 2014. Thermoelectric Generator. *Indonesian Journal of materials science*. (Online), Vol. 47, No. 120, (<http://www.journal.batan.go.id>), diakses 30 Juli 2015.
- Rohani, Ahmad. 2009. *Media Instruksional Edukatif*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Siahaan, Parsaoran dan Iyon Suyana. 2010. *Hakikat Sains Dan Pembelajarannya (Disampaikan Dalam Pelatihan Guru Mipa Papua Barat Tahun 2010)*. Bandung: UPI.
- Sukur, Edi. 2011. *Melirik Teknologi Termoelektrik sebagai Sumber Energi Alternatif*. (Online), (<http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi>), diakses 8 Juni 2015.
- Sutjahja, M. Inge. 2010. Penelitian Bahan Termoelektrik Bagi Aplikasi Konversi Energi dimasa Datang. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. (Online). Vol. 01, No. 01, (<http://jmei.phys.unpad.ac.id>), diakses 17 Mei 2015.
- Suyanto, Eko. 2009. Pengembangan Contoh Lembar Kerja Fisika Siswa dengan Latar Penuntasan Bekal Awal Ajar Tugas Studi Pustaka dan Keterampilan Proses untuk SMA Negeri 3 Bandar Lampung. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan 2009*. Bandar Lampung: Unila.
- Wijaya, Alexander Prasetya. 2014. *Jurnal Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*. (Online), Vol 4, No.119.18.XI.861, (<http://mesin.ub.ac.id>), diakses 24 Desember 2015.