

Makalah Pendamping	Etnosains dan Peranannya Dalam Menguatkan Karakter Bangsa	ISSN : 2527-6670
-------------------------------	--	-------------------------

Pengembangan alat percobaan muai panjang zat padat sebagai alat praktikum fisika pada materi pemuai

Selestina Kostaria Jua¹, Sarwanto², Sukarmin³

¹)Program Studi Magister Pendidikan Sains Universitas Sebelas Maret, Jln. Ir. Sutami
36 A Surakarta, Telp. (0271) 669124

^{2,3}) Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret, Jln. Ir. Sutami 36 A Surakarta,
Telp. (0271) 669124

e-mail: ¹)kostaosry@gmail.com; ²)sarwanto@fkip.uns.ac.id;

³)karmin.abdulkarim@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat percobaan muai panjang zat padat sederhana, yang berfungsi menunjukkan faktor-faktor penyebab terjadinya muai panjang dan menghitung nilai koefisien muai panjang (α) benda. Benda yang diukur koefisien muai panjangnya adalah kawat bendrat aluminium dan kawat besi. Pengembangan alat percobaan muai panjang ini merupakan bagian dari penelitian dan pengembangan modul pembelajaran. Alat percobaan muai panjang ini diujicobakan dan diterapkan oleh siswa SMA kelas X saat mempelajari konsep suhu dan pemuai. Berdasarkan percobaan siswa, alat percobaan muai panjang dapat menunjukkan pengaruh dan hubungan antara panjang awal (L), koefisien muai panjang (α), dan pertambahan suhu (ΔT) dengan muai panjang (ΔL) kawat. Selain itu, berdasarkan perhitungan salah satu hasil percobaan siswa, koefisien muai panjang kawat bendrat aluminium dan kawat besi berturut-turut bernilai sebesar $2,9 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ dan $1,1 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.

Kata kunci: *alat percobaan muai panjang, koefisien muai panjang*

Pendahuluan

Fisika merupakan salah satu mata pelajaran yang sangat teoritis dan abstrak. Ketika mengumpulkan data melalui angket, sebagian besar siswa menyatakan bahwa fisika merupakan pelajaran yang sangat sulit. Salah satu penyebabnya adalah cara mengajar guru yang tidak menarik. Dalam pembelajaran fisika, banyak guru yang menggunakan metode ceramah untuk menjelaskan konsep fisika. Tidak jarang guru memaksakan kehendak agar siswa menguasai konsep fisika yang tidak mudah dipahami atau sulit bagi siswa (Subiantoro, 2009: 7). Proses pengajaran seperti ini membuat fisika semakin abstrak di mata siswa. Tidak heran jika banyak siswa menganggap fisika merupakan pelajaran yang sulit.

Proses pembelajaran IPA harusnya menekankan pada pengalaman langsung untuk menemukan suatu konsep. Pembelajaran IPA melalui pengalaman langsung

dapat mengembangkan kompetensi menjelajahi dan memahami alam secara alamiah oleh siswa. Keterlibatan langsung membantu siswa untuk mengingat lebih lama pengetahuan yang sudah diperoleh dalam pembelajaran. Salah satu yang tepat untuk memenuhi tuntutan di atas adalah pembelajaran berbasis praktikum (Subiantoro, 2009: 5-7; Agustianti, Rustana & Nasbey, 2015: 46). Permendikbud nomor 21 tahun 2016 menekankan perlunya mendesain dan melaksanakan eksperimen serta melakukan pengukuran secara teliti pada semua konsep fisika SMA. Salah satunya konsep suhu yang di dalamnya membahas tentang pemuaian.

Pemasangan kabel listrik, kabel telepon, rel kereta api, kaca jendela, harus memperhatikan prinsip dasar pemuaian. Pemuaian dapat didefinisikan sebagai perubahan ukuran suatu benda ketika benda tersebut mengalami perubahan suhu. Semua zat, baik zat padat, zat cair, maupun gas mengalami pemuaian. Pemuaian pada zat padat terdiri dari muai panjang, muai luas dan muai volume. Faktor-faktor yang mempengaruhi muai panjang adalah panjang awal benda, koefisien muai panjang dan perubahan suhu. Agar siswa bisa melihat dan mengetahui faktor-faktor tersebut, maka siswa harus memperoleh pengalaman langsung melalui percobaan.

Berdasarkan diskusi singkat dengan beberapa guru, alat percobaan yang terpikirkan oleh guru untuk menunjukkan pengalaman langsung pemuaian zat padat adalah musschenbroek. Musschenbroek merupakan alat yang biasa digunakan untuk menghitung nilai dari salah satu faktor di atas yaitu koefisien muai panjang logam. Selain musschenbroek, ada beberapa peneliti yang mengembangkan alat percobaan muai panjang untuk menghitung nilai koefisien muai panjang. Koefisien muai panjang dapat diukur menggunakan alat ukur muai panjang berbasis mikrokontroler ATMega 8535. Alat ukur ini dilengkapi dengan sensor lvdt sebagai pendeteksi terjadinya muai panjang dan PC sebagai kontrol (Gozali, 2012: 1). Muai panjang zat padat juga dapat diukur menggunakan interferometer dengan memperhatikan pola-pola interferensi. Interferometer yang digunakan adalah interferometer Michelson (Kurniyati, 2005: 2). Wulandary dan Radiyono (2015: 1-3) mengukur nilai koefisien muai panjang aluminium menggunakan metode difraksi celah tunggal. Beberapa alat yang digunakan untuk merangkai alat ukur difraksi celah tunggal ini adalah air dan pemanas air, silet, termometer, laser, dan layar. Koefisien muai panjang juga dapat diukur dengan set alat muai panjang model Pasco TD-8558 yang sudah dilengkapi dengan skala pertambahan panjang (Mohtar, 2008: 1).

Nilai koefisien muai panjang logam dapat diperhitungkan dengan tepat saat menggunakan musschenbroek. Namun, beberapa guru menyatakan bahwa harga musschenbroek lumayan mahal sehingga guru tidak terpikir untuk mengajak siswa melakukan percobaan tentang pemuaian. Demikian pula dengan set alat muai panjang Pasco TD-8558, harganya belum tentu murah. Mikrokontroler ATMega 8535 tentu mudah diperoleh di kota-kota besar, tetapi bagaimana dengan sekolah yang ada di daerah-daerah kecil termasuk daerah pedalaman? Belum tentu di daerah tersebut menjual mikrokontroler ATMega 8535. Sama halnya dengan ketersediaan sensor lvdt, PC, interferometer Michelson, dan laser, di sekolah-sekolah yang berada di daerah. Belum tentu, sekolah dapat menyediakan alat-alat tersebut di atas. Disamping itu, beberapa alat yang dikembangkan di atas tidak dan / atau belum menunjukkan faktor-faktor penyebab terjadinya muai panjang secara bersamaan.

Percobaan untuk menunjukkan muai panjang zat padat dapat dilakukan dengan memanaskan logam menggunakan uap air (Ratih dkk, 2012). Alat-alat yang digunakan dalam percobaan ini adalah statif dan 2 dua buah penyangga statif, 2 buah *bose-head*, klem universal, sumbat karet 1 lubang, selang silikon dan penghubungnya, silinder ukur, penunjuk khusus, labu erlenmeyer, pipa aluminium, pembakar spritus, penggaris, dan pipa aluminium. Pada percobaan muai panjang zat padat ini, bukti terjadinya pemuaian pada pipa aluminium dapat diamati dengan cepat, karena suhu uap air yang tinggi. Namun jika diperhatikan, alat-alat yang harus disiapkan lumayan banyak. Selain itu,

Ratih dkk belum menunjukkan cara untuk mengukur suhu uap air yang menyebabkan pemuai pada kawat aluminium tersebut.

Mr. Wizard (2013) dalam demonya menunjukkan cara melakukan percobaan sederhana tentang muai panjang. Percobaan sederhana tersebut menggunakan dua balok padat, satu buah kawat, paku payung, jarum, sedotan, dan lilin. Paku payung berfungsi untuk menahan salah satu ujung kawat yang diletakkan pada salah satu balok padat. Secara kualitatif, proses pemuai kawat dapat ditunjukkan dengan jelas. Jarum dan sedotan yang diletakkan di bawah salah satu ujung kawat akan memutar ketika kawat dipanaskan dan sedotan yang awalnya diam, bergerak atau menyimpang membentuk sudut tertentu. Namun, Mr. Wizard dalam demonya belum menunjukkan cara untuk mengukur suhu lilin yang menyebabkan kawat memuai. Selain itu, Mr. Wizard juga tidak menunjukkan berapa besar kawat tersebut memuai.

Berdasarkan beberapa hal di atas terutama ide dari demo Mr. Wizard, maka peneliti mengembangkan alat percobaan muai panjang zat padat menggunakan alat-alat sederhana yang bisa diperoleh disekitar kita. Alat yang dikembangkan ini dapat menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya muai panjang zat padat. Selain itu, hasil pengukuran dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien muai panjang logam. Oleh sebab itu, rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah: 1) Apakah alat percobaan muai panjang yang dikembangkan dapat menunjukkan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya muai panjang? 2) Berapa besar nilai koefisien muai panjang benda yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan alat percobaan muai panjang yang dikembangkan tersebut?

Metode Penelitian

Pengembangan alat percobaan muai panjang ini merupakan bagian dari penelitian dan pengembangan (*R and D*) modul pembelajaran fisika. Proses pengembangan alat percobaan muai panjang dilaksanakan dari bulan Januari sampai April 2017. Langkah awal yang dilakukan adalah studi literatur untuk mengembangkan alat dan dilanjutkan dengan desain alat. Setelah desain dianggap sesuai dengan tujuan, maka desain tersebut dikerjakan untuk menghasilkan alat percobaan muai panjang. Selanjutnya, alat tersebut diujicobakan pada pelajaran fisika dengan materi suhu dan pemuai pada siswa kelas X SMA Kanisius Bharata Karanganyar dan kelas X Sosial 4 SMAN 1 Sambungmacan Sragen. Salah satu hasil percobaan siswa digunakan untuk menghitung nilai koefisien muai panjang kawat bendrat dan kawat besi.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan desain alat percobaan, alat-alat yang dibutuhkan dalam percobaan muai panjang adalah balok kayu yang dimodifikasi, kawat besi dan kawat bedrat aluminium, busur, sedotan atau bilah bambu kecil, jarum, 2 atau 3 termometer dan pembakar spiritus atau lilin serta *Handphonne* sebagai pengganti stopwatch. Balok kayu didesain agar dapat digunakan untuk meletakkan alat-alat lain di atasnya. Balok kayu hasil modifikasi dan rangkaian alat percobaan muai panjang secara berturut-turut ditampilkan pada Gambar 1a dan 1b.

Seperti yang terlihat pada Gambar 1b, balok kiri dilubangi vertikal dan horisontal dan kedua lubang diusahakan bertemu. Lubang vertikal berfungsi untuk meletakkan termometer, sedangkan lubang horisontal berfungsi untuk meletakkan atau menahan salah satu ujung kawat. Lubang horisontal sengaja tidak dilubangi sampai menembusi balok karena balok berfungsi menahan terjadinya pemuai ke kiri ketika kawat dipanaskan. Ketika kawat di sisi kiri ditahan oleh balok, pemuai kawat akan bergerak ke arah kanan. Balok di bagian kanan berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan sisi kawat yang lain dan juga sebagai tempat meletakkan jarum dan sedotan atau bilah bambu.



Gambar 1. Balok percobaan muai panjang dan rangkaian percobaan muai panjang

Kawat yang dipanaskan untuk menunjukkan peristiwa muai panjang adalah kawat besi dan kawat bendrat aluminium. Kawat bendrat terdiri dari 1 kawat bendrat panjang dan 1 kawat bendrat pendek. Jarum dan sedotan atau bilah bambu berfungsi untuk menunjukkan terjadinya pemuaian. Panjang sedotan atau bilah bambu disesuaikan dengan diameter busur derajat. Jarum dan sedotan atau bilah bambu diatur agar keduanya saling tegak lurus. Caranya, tepat ditengah-tengah sedotan atau bilah bambu dilubangi dengan jarum. Busur derajat berfungsi untuk menunjukkan seberapa besar sedotan atau bilah bambu menyimpang akibat pemuaian.

Pelaksanaan percobaan muai panjang dapat dilakukan dengan memperhatikan dan melaksanakan beberapa langkah berikut.

1. Masukkan salah satu ujung kawat pada lubang horisontal di balok kiri. Usahakan ujung kawat menumbuk sisi balok kiri. Sedangkan ujung kawat yang lain diletakkan di atas balok kanan. Ujung kawat di bagian kanan diusahakan melewati garis yang menandai garis tengah balok. Garis tengah balok sejajar dengan titik tengah busur derajat.
2. Masukkan termometer pada lubang vertikal balok kiri. Usahakan termometer menyentuh ujung kawat. Perhatikan dan catat suhu awal kawat.
3. Letakkan jarum dibawah kawat dan tepat pada garis tengah balok. Jarum diusahakan bersentuhan dengan kawat agar ketika kawat bertambah panjang dan bergerak ke kanan, jarum ikut berputar.
4. Atur sedotan atau bilah bambu agar sejajar dengan garis 0° busur derajat.
5. Nyalakan pembakar spiritus atau lilin untuk memanaskan kawat tersebut.
6. Amati dan catat perubahan suhu dan simpangan sedotan atau bilah bambu akibat kawat memuai selama beberapa waktu tertentu.

Ketika kawat dipanaskan, kawat yang suhu awalnya rendah menerima tambahan suhu dari lilin atau pembakar spiritus. Akibatnya, kawat mengalami pertambahan panjang. Pertambahan panjang kawat bergerak ke arah kanan karena kawat ditahan untuk tidak bertambah panjang ke arah kiri (ditahan oleh balok). Bertambah panjangnya kawat ke kanan menyebabkan jarum yang bersentuhan dengan kawat berputar pada porosnya. Putaran jarum menyebabkan sedotan yang awalnya sejajar dengan garis 0° busur derajat menyimpang atau membentuk sudut tertentu. Ketika kawat terus dipanaskan, kawat akan terus memuai dan simpangan sedotan semakin besar. Besar simpangan sedotan dapat dibaca pada skala derajat yang ditunjukkan oleh busur derajat.

Percobaan untuk menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi muai panjang zat padat dapat dilakukan dengan tiga cara.

1. Tiga kawat (kawat besi, kawat bendrat panjang, dan kawat bendrat pendek) dipanaskan secara bersamaan selama waktu tertentu. Sumber panas yang digunakan untuk cara ini lebih baik menggunakan satu sumber untuk memanaskan ketiga kawat.
2. Tiga kawat dipanaskan dalam dua kali perlakuan selama selang waktu yang sama

- a. Kawat bendrat pendek dan panjang dipanaskan bersamaan menggunakan satu pembakar spiritus/lilin.
- b. Kawat besi dipanaskan dengan satu pembakar spiritus/lilin, sedangkan kawat bendrat panjang dipanaskan dengan 2-3 pembakar spiritus/lilin
3. Kawat dipanaskan satu persatu untuk membandingkan tiga faktor terjadinya pemuaiian.
 - a. Kawat bendrat panjang dibandingkan dengan kawat bendrat pendek.
 - b. Kawat besi dibandingkan dengan kawat bendrat yang sama panjang.
 - c. Salah satu kawat dipanaskan dengan perubahan suhu yang berbeda.

Uji coba dilaksanakan untuk menguji kelebihan, kekurangan, dan usulan perbaikan alat percobaan muai panjang yang sudah dikembangkan. Dalam pelaksanaannya, percobaan dilaksanakan dengan cara 2. Berdasarkan percobaan siswa, alat percobaan muai panjang yang dikembangkan ini dapat menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya muai panjang. Beberapa perbaikan diperoleh dari pelaksanaan percobaan di SMA Kanisius Bharata Karanganyar. *Pertama*, jarum yang digunakan harus lebih kasar atau lebih besar. Dasar usulan perbaikan adalah, jarum yang digunakan terlalu kecil sehingga jarum dan kawat kurang bersentuhan dengan baik. Akibatnya, simpangan sedotan tidak maksimal. *Kedua*, sumber pemanas yang digunakan sebaiknya pembakar spiritus, karena lilin menghasilkan jelaga. Namun, pelaksanaan percobaan disesuaikan dengan ketersediaan alat di sekolah. Jika sekolah tidak memiliki pembakar spiritus, maka lilin tetap dipakai sebagai sumber pemanas. *Ketiga*, sedotan tidak mempunyai garis tengah sebagai garis patokan untuk menunjukkan besar simpangan atau pemuaiian kawat. Jadi, sedotan dapat diganti menggunakan bilah bambu kecil yang dapat diruncingkan di kedua ujungnya. Tujuannya agar, ujung runcing bilah bambu dapat menunjukkan dengan tepat besar pertambahan panjang kawat pada skala busur.

Percobaan di SMAN 1 Sambungmacan Sragen dilaksanakan dengan memperhatikan usulan perbaikan di atas. Pelaksanaan percobaan dilaksanakan menggunakan cara 3 dengan waktu pemanasan kawat selama 2 menit. Salah satu hasil percobaan siswa ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil percobaan muai panjang siswa

Bahan	L (cm)	T (°C)		ΔL (^o)	Keterangan
		T _{awal} (T _a)	T _{akhir} (T _f)		
Kawat bendrat panjang	35,8	35	48	21	Dipanaskan dengan 1 pembakar
Kawat besi		32	50	15	
Kawat bendrat pendek	24,6	33	62	17	Dipanaskan dengan 2 pembakar
		35	70	27	

Berdasarkan data pada tabel 1, ΔL kawat bendrat panjang sebesar 21° sedangkan ΔL kawat bendrat pendek sebesar 17° (masing-masing dipanaskan dengan 1 pembakar spiritus). Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa, ΔL kawat bendrat panjang lebih besar dari ΔL kawat bendrat pendek. Jadi, panjang awal benda (L) mempengaruhi pertambahan panjang benda atau muai panjang benda (ΔL). *Semakin panjang benda, semakin besar pertambahan panjangnya* atau $L \sim \Delta L$. Hal yang sama terjadi pada kawat besi dan kawat bendrat pendek yang panjangnya sama, dipanaskan pada selang waktu yang sama dan masing-masing dibakar dengan satu pembakar spiritus. ΔL kawat bendrat pendek (17°) lebih besar dari ΔL kawat besi (15°). *Perbedaan ΔL kedua kawat ini disebabkan oleh rata-rata koefisien muai panjang kawat yang berbeda. Semakin besar koefisien muai rata-rata benda, semakin besar pertambahan atau muai panjang benda* atau $\alpha \sim \Delta L$ (Serway & Jewett, 2010: 13). Selanjutnya, kawat

bendrat pendek yang dipanaskan menggunakan jumlah pembakar yang berbeda, menghasilkan ΔL yang berbeda pula. Berdasarkan data, ΔL kawat bendrat pendek yang dipanaskan dengan 1 pembakar (17°) lebih kecil dari ΔL kawat bendrat pendek yang dipanaskan dengan 2 pembakar (27°). Hal ini menunjukkan bahwa, *semakin besar pertambahan suhu, semakin besar pertambahan panjang benda* atau $\Delta T \sim \Delta L$.

Hubungan antar besaran berdasarkan analisis data di atas dapat digunakan untuk mengubah pernyataan menjadi persamaan muai panjang yaitu,

$$\Delta L = l \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

Hasil pengukuran pertambahan panjang (ΔL) dalam satuan derajat ($^\circ$) pada tabel 1 diubah ke satuan centimeter (cm) menggunakan persamaan panjang busur lingkaran. Setelah mengubah data dari derajat menjadi centimeter, maka data tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien muai panjang kawat bendrat dan kawat besi menggunakan persamaan (1). Hasil perhitungan koefisien muai panjang kawat ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan koefisien muai panjang kawat

Bahan	L (cm)	ΔT ($^\circ\text{C}$)	ΔL		α ($^\circ\text{C}$)	
			($^\circ$)	(cm)	Kawat bendrat	Kawat besi
Kawat bendrat panjang	35,8	13	21	1,83	$3,9 \times 10^{-3}$	
Kawat besi		18	15	1,31		$1,1 \times 10^{-3}$
Kawat bendrat pendek	24,6	29	17	1,48	$2,1 \times 10^{-3}$	
		35	27	2,36	$2,7 \times 10^{-3}$	
$\bar{\alpha}$ ($^\circ\text{C}$)					$2,9 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$	$1,1 \times 10^{-3}$

Jika disesuaikan dengan persamaan (1), data yang tersedia berdasarkan hasil percobaan di atas adalah panjang awal kawat (L), perubahan suhu (ΔT), dan pertambahan panjang (ΔL). Data yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien muai panjang (α) kawat bendrat dan kawat besi. Berdasarkan analisis data, rata-rata nilai koefisien muai panjang kawat bendrat sebesar $2,9 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ dan nilai koefisien muai panjang kawat besi sebesar $1,1 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$. Sedangkan, nilai α aluminium yang sudah ditetapkan bernilai sebesar $2,4 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ (Serway & Jewett, 2010: 12) dan nilai α besi sebesar $1,1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ (Suparno, 2009: 163). Jadi, ada perbedaan nilai α hasil percobaan dengan nilai α yang sudah ditetapkan. Selain itu hasil percobaan menunjukkan bahwa, nilai koefisien muai panjang kawat bendrat aluminium lebih besar dari nilai koefisien muai panjang kawat besi. Hal ini membuktikan bahwa nilai α logam aluminium lebih besar dari nilai α logam besi.

Perbedaan nilai α kawat bendrat dengan tetapan nilai α dapat disebabkan karena kawat bendrat aluminium bukan aluminium murni atau kawat bendrat aluminium sudah dicampur dengan unsur-unsur lain selain aluminium. Demikian pula dengan kawat besi, kawat besi yang dihitung nilai α bukan besi murni. Perbedaan nilai α juga dapat disebabkan oleh masalah teknis dalam percobaan. Misalnya:

1. Koneksi antara kawat dengan jarum tidak sensitif. Hal ini dapat disebabkan oleh struktur kawat yang kurang rata atau lurus, sehingga jarum dan kawat tidak dapat terkoneksi dengan baik.
2. Nyala api pembakar spiritus yang tidak stabil.
3. Ketidaktelitian siswa dan peneliti saat membaca skala pada termometer.
4. Ketidaktelitian siswa dan peneliti saat membaca skala pada busur derajat yang ditunjukkan oleh sedotan atau bilah bambu.

Penggunaan alat percobaan muai panjang yang dikembangkan dalam percobaan pemuai oleh siswa dapat ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pelaksanaan percobaan muai panjang oleh siswa

Kesimpulan

Tujuan pengembangan alat percobaan muai panjang adalah untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab terjadinya pemuaian dan memperoleh nilai koefisien muai panjang kawat bendrat aluminium dan kawat besi. Berdasarkan uji coba alat dalam pelaksanaan percobaan dan pembahasan yang sudah dilakukan di atas, dapat disimpulkan bahwa: 1) Alat percobaan muai panjang dapat menunjukkan bahwa panjang awal, koefisien muai panjang, dan pertambahan suhu mempengaruhi pertambahan panjang kawat bendrat aluminium dan kawat besi. 2) Panjang awal, koefisien muai panjang, dan pertambahan suhu sebanding dengan pertambahan panjang. 3) Nilai koefisien muai panjang kawat bendrat aluminium lebih besar dari nilai koefisien muai panjang kawat besi. 4) Dari salah satu hasil percobaan siswa, nilai koefisien muai panjang kawat bendrat aluminium dan kawat besi berturut-turut adalah $2,9 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ dan $1,1 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$. Perbedaan nilai koefisien muai panjang hasil percobaan dengan tetapan nilai koefisien muai panjang dapat dipengaruhi oleh ketidakteelitian peneliti dan siswa pada saat melakukan percobaan, rangkaian alat percobaan muai panjang yang belum sempurna, dan alat yang belum sensitif dengan muai panjang benda. Oleh sebab itu, para guru dan peneliti selanjutnya dapat mengembangkan alat ini menjadi alat percobaan muai panjang yang lebih baik. Tujuannya agar faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya muai panjang dapat ditunjukkan dengan lebih baik kepada siswa. Selain itu, pengembangan alat dapat menghasilkan nilai koefisien muai panjang yang lebih teliti tanpa mengurangi kesederhanaan alatnya, sehingga semua guru dan siswa dapat menggunakan alat tersebut dalam percobaan muai panjang.

Daftar Pustaka

- Agustianti, D., Rustana, C. E. & Nasby, H. (2015, Oktober). Pengembangan Alat Praktikum Medle Sebagai Media Pembelajaran Fisika SMA. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta*. Volume IV. 45-48.
- Gozali, R. (2012). Alat Ukur Muai Panjang Logam. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Kurniyati, A. (2005). Penentuan Koefisien Muai Panjang Suatu Logam dengan Interferometer Michelson. Skripsi. Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Mohtar. (2008). Pemuaian Panjang. Petunjuk Praktikum. Diperoleh, 20 Januari 2017, dari <http://mohtar.staff.uns.ac.id/files/2008/08/pemuaian-panjang.doc>.
- Mr. Wizard. (2013). *Why Does Metal Expand When Heated?*. Youtube. Diperoleh, Januari 2017, dari https://www.youtube.com/watch?v=6bg5Lzv5_08
- Ratih C., dkk. (2012). *Video Pemuaian*. Youtube. Diperoleh Januari 2017, dari https://www.youtube.com/watch?v=_glgDreUe_Y&t=633s.
- Serway, R. A. & Jewett, J. W. (2010). *Fisika – untuk Sains dan Teknik*. Buku 2, Edisi 6. Terj. Chriswan Sungkono. Jakarta: Salemba Teknik.

-
- Subiantoro, A. W. (2009). Pentingnya Praktikum dalam Pembelajaran IPA. *Pelatihan Pengembangan Praktikum IPA Berbasis Lingkungan, bagi guru-guru MGMP IPA SMP Kota Yogyakarta*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Suparno, P. (2009). *Pengantar Termofisika*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Wulandary & Radiyono. (2015). Penggunaan Metode Difraksi Celah Tunggal pada Penentuan Koefisien Pemuaian Panjang Alumunium (Al). *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*, 5(2), 1-4.