

Analisa Akurasi dan Presisi Alat Uji Muai Panjang Material Logam Berbasis Pemanas Elektrik dan Dial Indikator

Siti Maria Ulva^{1*}, Hadi Santoso², Dady Sulaiman³, Sumardi⁴, Marhadi Budi Waluyo⁵

^{1,3}Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Kaltara

^{2,4,5}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan

E-mail: ¹sitimariaulva@fmipa.unikaltar.ac.id, ²hadisantoso@borneo.ac.id, ³dady@fmipa.unikaltar.ac.id,
⁴sumardi131298@gmail.com, ⁵marhadibw@borneo.ac.id

Corresponding author*

ABSTRACT

Thermal expansion refers to the increase in the size or dimensions of an object due to a rise in its temperature. Every solid material has a quantity known as the coefficient of linear expansion. The coefficient of linear expansion of a material indicates the amount of length increase when its temperature is raised by 1°C. A design and construction of an expansion test apparatus have been carried out, successfully demonstrating the phenomenon of thermal expansion in iron, copper, and brass specimens. This study focuses on testing the apparatus to determine its accuracy, precision, and uncertainty. The experiments were conducted using iron, copper, and brass materials. Repeated tests showed the linear expansion coefficients of iron, copper, and brass to be 0.000053/°C, 0.000024/°C, and 0.000029/°C, respectively. The results indicated that the measurement accuracy of the apparatus for iron, copper, and brass specimens was 345%, 41%, and -6%, respectively. Meanwhile, the precision values for iron, copper, and brass were 75%, 26%, and 29%, respectively. These results suggest that the accuracy and precision of the apparatus are not yet satisfactory. Considering that the reference coefficients of expansion for iron, copper, and brass are 0.000012/°C, 0.000017/°C, and 0.000019/°C, respectively, it can be concluded that the apparatus is not yet capable of quantitatively measuring thermal expansion phenomena, although it can still be used for qualitative observation of thermal expansion.

Keywords: accuracy, metal, thermal expansion, precision

ABSTRAK

Pemuaian adalah bertambah ukuran atau besar suatu benda karena kenaikan suhu yang terjadi pada benda tersebut. Setiap zat padat memiliki besaran yang disebut koefisien muai panjang. Koefisien muai panjang suatu zat adalah angka yang menunjukkan pertambahan panjang suatu zat apabila suhunya dinaikan sebesar 1°C. Telah dilakukan rancang bangun alat uji pemuaian yang berhasil menunjukkan fenomena pemuaian pada spesimen besi, tembaga dan kuningan. Penelitian ini berfokus pada pengujian alat tersebut untuk mengetahui nilai akurasi dan presisinya serta ketidakpastian. Proses dilakukan dengan material besi, tembaga dan kuningan. Pada pengujian berulang menunjukkan nilai muai panjang besi 0,000053/°C, tembaga 0,000024/°C dan kuningan 0,000029/°C. Hasilnya menunjukkan bahwa akurasi alat pada uji spesimen besi, tembaga dan kuningan berurutan adalah 345 %, 41%, dan -6%. Sedangkan untuk nilai spesimen secara berurutan 75%, 26% dan 29%. Hal tersebut menunjukkan nilai akurasi dan presisi yang belum baik. Dikarenakan nilai koefisien refrensi besi, tembaga dan kuningan secara berurutan adalah 0,000012/°C, 0,000017/°C dan 0,000019/°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa alat ini belum dapat

mengamati fenomena pemuaian secara kuantitatif, namun masi dapat dilakukan pengamatan fonomena pemuaian secara kualitatif.

Kata Kunci: akurasi, logam, pemuaian, presisi

I. PENDAHULUAN

Ilmu teknik mesin merupakan cabang ilmu rekayasa yang berfokus pada studi mengenai konstruksi, material, hingga konversi energi, serta aplikasi teknik pada berbagai aspek industri [1]. Dalam konteks dunia konstruksi, pengetahuan tentang sifat mekanik material, khususnya logam, saat mengalami proses pemanasan atau pendinginan menjadi sangat penting, misalnya pada penyambungan besi jembatan [2],[3]. Pemahaman karakteristik pemuaian logam sangat diperlukan agar dapat mencegah efek negatif, seperti pelengkungan sambungan akibat pemuaian atau timbulnya rongga akibat penyusutan saat suhu turun [2].

Perubahan suhu memberikan pengaruh signifikan terhadap dimensi suatu benda, dan fenomena ini umum pada logam, sesuai prinsip pemuaian termal [4]. Setiap jenis logam memiliki koefisien pemuaian panjang yang berbeda-beda, yang dapat ditentukan secara eksperimen [5]. Penentuan nilai koefisien pemuaian panjang dari berbagai material logam seperti kuningan, tembaga, dan besi sangat penting untuk analisa desain serta keandalan konstruksi.

Sebelum proses eksperimen dilakukan, diperlukan alat uji yang tidak hanya dapat digunakan untuk pengamatan, tetapi juga memiliki akurasi dan presisi memadai agar data hasil pengujian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah [6]. Pengembangan dan analisis terhadap alat uji muai panjang berbasis pemanas elektrik dan dial indikator menjadi krusial untuk memastikan fenomena pemuaian yang terukur benar-benar mewakili karakteristik material yang diuji [5].

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana tingkat akurasi dan presisi alat uji muai panjang material logam yang dikembangkan, khususnya untuk jenis logam kuningan, tembaga, dan besi [6]. Untuk menjawab permasalahan tersebut, dilakukan analisis terhadap kinerja alat, baik dari aspek akurasi hasil pengukuran maupun presisinya berdasarkan data eksperimen berulang.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengevaluasi tingkat akurasi dan presisi alat uji muai panjang yang berbasis pemanas elektrik dan dial indikator pada pengujian material logam. Penelitian ini diharapkan menghasilkan alat uji yang andal dan dapat digunakan sebagai sarana praktikum maupun penelitian lanjutan dalam studi fenomena pemuaian panjang logam [1],[5]. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan metode pengujian material logam dengan ketelitian lebih tinggi.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen ini untuk menunjukkan konsep pemuaian panjang, yaitu menentukan koefisien pemuaian panjang pada logam besi. Eksperimen yang dilakukan diawali dengan tahap persiapan, yang meliputi kegiatan kajian pustaka dan mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk membuat alat percobaan penentuan koefisien pemuaian panjang pada material logam. Tahap selanjutnya adalah pembuatan rangkaian alat percobaan penentuan koefisien pemuaian panjang pada logam Besi. Pada tahap ini akan dilakukan pengujian alat serta pengambilan data. Kemudian pada tahap terakhir dari penelitian ini adalah mengetahui akurasi dan presisi.

Proses analisa data diperoleh dari nilai pertambahan panjang (ΔL) dan nilai koefisien muai panjang (α) dengan menggunakan perhitungan manual pada material logam koningan, baja, dan tembaga. Adapun Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai koefisien muai panjang (α) dan nilai rata-rata pemuaian ialah sebagai berikut [7].

$$\alpha = \frac{\Delta L}{Lo. \Delta T}$$

Keterangan:

ΔL = Pertambahan panjang

α = Koefisien muai panjang

ΔT = Perubahan suhu

Untuk mendapatkan hasil dari akurasi dan presisi ada beberapa rumus untuk mendapatkan hasil yang akurat sebagai berikut [8].

Menentukan akurasi dan presisi

$$ACC = \left[\frac{V_r - V_a}{V_a} \right] \times 100\%$$

Keterangan:

V_r = Hasil pengukuran

V_a = Nilai sebenarnya yang diukur

$$\text{Ketepatan} = \left[\frac{V_{rs} - \bar{V}_r}{V_a} \right] \times 100\%$$

Keterangan:

V_{rs} = Penunjukan maksimum/minimum

\bar{V}_r = Harga rata-rata pengukuran

V_a = Nilai sebenarnya

Mengetahui ketidakpastian pengukuran berulang yaitu menggunakan rumus standar deviasi untuk mengetahui ketidakpastian pengukuran berulang. Pada umumnya pengukuran berulang digunakan untuk mengukur sesuatu yang sering kali hasilnya terdapat perbedaan jika diukur pada bagian yang berbeda [9].

Menentukan ketidakpastian

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum x_i}{N}$$

Ketidakpastian

$$\Delta x = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{N-1}}$$

Penulisan hasil pengukuran ($\Delta x \pm \bar{x}$)

Keterangan:

\bar{x} = nilai rata-rata

$\sum x_i$ = jumlah keseluruhan hasil pengukuran

N = banyak jumlah pengukuran

Δx = ketidakpastian pengukuran

Tabel 1. Koefisien Muai Panjang

JENIS BAHAN	α
Timbal	$2.9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Platina	$0.89 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Kaca	$0.9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Baja	$1.1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Besi	$1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Tembaga	$1.7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Kuningan	$1.9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Aluminium	$2.54 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$
Perunggu	$1.8 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan langkah-langkah yang telah dijelaskan pada metode penelitian, tahap ini membahas hasil analisis data pengujian alat untuk mengetahui tingkat akurasi dan presisi alat muai panjang yang telah dirancang. Pengujian diawali dengan memastikan kondisi alat dalam keadaan normal untuk menjamin bahwa seluruh komponen berfungsi dengan baik sebelum digunakan. Selanjutnya, material uji dipasang pada posisi yang telah disediakan di alat pengujian. Sensor suhu kemudian disentuhkan pada material uji untuk memantau perubahan temperatur selama proses berlangsung, dengan memperhatikan agar posisi sensor tidak terlalu dekat dengan elemen pemanas (*induction heater*) sehingga tidak terjadi kesalahan pembacaan suhu.

Tahap berikutnya adalah melakukan kalibrasi terhadap dial indikator. Kalibrasi dilakukan dengan menyentuhkan ujung dial indikator ke permukaan material uji dan memastikan jarum menunjukkan angka nol. Langkah ini penting untuk memperoleh data perubahan panjang yang akurat akibat pemuaian material saat suhu meningkat. Setelah seluruh komponen terpasang dan dikalibrasi, alat pengujian diaktifkan dengan menghubungkan arus listrik ke sistem pemanas. Proses ini memungkinkan material mengalami kenaikan suhu secara bertahap, sehingga perubahan panjang material akibat pemuaian dapat diamati dan dicatat secara teliti melalui indikator pengukur. Data yang diperoleh dari tahapan ini menjadi dasar untuk menganalisis tingkat akurasi dan presisi alat muai panjang terhadap standar pengukuran yang telah ditetapkan.

Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan. Kegiatan pengujian dilaksanakan dalam kondisi laboratorium yang terkontrol untuk memastikan hasil pengukuran yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Data yang diperoleh dari hasil pengujian alat meliputi panjang awal material (L_0), suhu awal (T_1), perubahan suhu selama proses pemanasan (ΔT), dan pertambahan panjang material akibat pemuaian (ΔL). Setiap parameter tersebut diamati dan dicatat secara teliti untuk dianalisis hubungan antara kenaikan suhu dengan perubahan panjang material uji. Hasil ini digunakan sebagai dasar dalam menilai kinerja serta keakuratan alat muai panjang yang telah dirancang, sekaligus membandingkannya dengan teori pemuaian panjang logam berdasarkan nilai koefisien muai yang telah diketahui secara teoritis.



Gambar 1. Pengambilan Data pada Spesimen Besi

Pada Gambar 1 ditunjukkan proses pengambilan data terhadap spesimen besi menggunakan alat muai panjang. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan panjang material akibat peningkatan suhu secara bertahap. Prinsip kerja dari alat ini yakni ketika sistem pemanas elektrik bekerja maka panas induksi menghasilkan kalor. Kalor tersebut selanjutnya menghantarkan konduksi kepada batang material uji. Ketika terjadi kenaikan temperatur maka material uji akan mengalami fenomena pemuaian [10]. Pada tahap ini, fokus pengamatan difokuskan pada pertambahan panjang spesimen besi setiap terjadi kenaikan suhu sebesar 100°C . Prosedur pengujian dilakukan sebanyak lima kali percobaan untuk memperoleh data yang konsisten dan dapat digunakan dalam analisis presisi alat. Hasil pengukuran dari setiap percobaan kemudian disajikan dalam Tabel 2, yang memperlihatkan hubungan antara kenaikan suhu dan perubahan panjang spesimen, serta menjadi dasar dalam menilai karakteristik pemuaian logam tersebut terhadap teori koefisien muai panjang.

Tabel 2. Data Spesimen Besi

No	T1	Lo	ΔT	ΔL	α
1	30	20	70	0,074	0,000052
2	30	20	70	0,077	0,000055
3	30	20	70	0,080	0,000057
4	30	20	70	0,072	0,000051
5	30	20	70	0,074	0,000052
Nilai Rata-rata					0,000053

Pengujian akurasi dilakukan dengan menggunakan dua nilai pembanding. Pada Pengujian 1, dengan $V_r = 0,000053$ dan $V_a = 0,000046$, perhitungan akurasi (ACC) menunjukkan nilai sebesar 16,09%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai persen yang diperoleh dalam pengujian akurasi, semakin baik tingkat keakuratan alat tersebut. Persentase akurasi ini menandakan bahwa alat uji muai panjang berbasis pemanas elektrik dan dial indikator sudah cukup baik digunakan dalam pengujian, dengan nilai rata-rata akurasi sebesar 16%.

Sebaliknya, pada Pengujian 2, dengan $V_r = 0,000053$ dan $V_a = 0,000012$, nilai akurasi yang diperoleh mencapai 345%. Nilai yang besar ini mengindikasikan perangkat uji tidak akurat apabila menggunakan nilai acuan koefisien muai dari literatur pada Tabel 1. Persentase kesalahan yang besar ini menandakan adanya perbedaan yang signifikan antara hasil pengujian alat dan literatur, sehingga alat ini tidak direkomendasikan digunakan untuk pengujian kuantitatif apabila merujuk pada standar acuan tersebut. Namun demikian, alat masih dapat dimanfaatkan untuk pengamatan fenomena pemuaian secara kualitatif maupun sebagai alat pembelajaran di laboratorium teknik mesin [11].

Pengujian presisi pada alat uji muai panjang dilakukan dengan membandingkan nilai maksimum dan minimum dari hasil percobaan, bertujuan untuk menilai konsistensi alat dalam mengukur perubahan panjang besi pada kenaikan suhu yang sama. Dari hasil pengukuran, diperoleh nilai rata-rata koefisien muai V_r sebesar 0,000046 dan V_a sebesar 0,000053. Pada Tabel 3, tertulis hasil presisi untuk besi mulai dari nilai maksimum sebesar 75,24% hingga nilai minimum sebesar -4,34%. Proses penghitungan presisi dilakukan berdasarkan selisih antara pengukuran aktual dengan nilai referensi, dibagi nilai referensi lalu dikali 100%, sehingga ketepatan maksimum yang dicapai adalah 75,24%, sedangkan ketepatan minimum menyentuh angka -4,34%.

Tabel 3. Nilai Minimum/ Maksimum presisi Besi

NO	V_{rs}	V_r	V_a	100 %
1	0,000057	0,000053	0,000046	75,24 %
2	0,000051	0,000053	0,000046	-4,34 %

Nilai persentase rendah pada alat uji muai panjang menunjukkan tingkat ketepatan yang kurang baik, ditandai dengan selisih hasil pengukuran yang cukup besar antara nilai minimum dan maksimum. Secara ideal, hasil pengujian presisi yang baik seharusnya memiliki nilai minimum dan maksimum yang mendekati sama, menandakan alat konsisten dalam setiap percobaan pengukuran. Perbedaan ini mengindikasikan perlunya kalibrasi alat yang lebih baik dan peningkatan kualitas komponen pengukur, agar alat mampu menghasilkan data presisi yang dapat diandalkan baik untuk pengujian maupun aplikasi laboratorium teknik mesin.

IV. KESIMPULAN

Setelah mengamati dan menganalisa data yang diperoleh dari pengolahan data pengukuran, maka penulis menyimpulkan beberapa kesimpulan berikut:

1. Dengan memahami pengoperasian alat muai panjang material logam. Adapun cara kerja alat tersebut yaitu, material uji pasang di alat uji lalu sesuaikan dial indikator dengan ujung menyentuh material dan pastikan jarum menunjukan angka nol dan pastikan *termokopel* menyentuh material uji dan tidak terlalu dekat dengan induksi heater lalu nyalakan alat uji yang telah tersambung dengan listrik.
2. Alat ini menunjukkan akurasi untuk besi 16 dan sedangkan literatur yang ada 345%. Tembaga akurasi yang didapat dalam penelitian 24% dan sedangkan literatur yang ada 41%. Kuningan -6% dan sedangkan literatur yang ada 52%. Sedangkan untuk presisi hasil yang didapat untuk besi 75% maximum dan minimum -4%. Tembaga 24% maximum dan minimum 21 %. Kuningan 29% maximum dan minimum 32%.
3. Alat yang telah dirancang saudara Arie Linory selaku rekan penelitian hanya mampu digunakan secara kualitatif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Kassim, *Engineering Thermodynamics*. Mercury Learning and Information, 2023
- [2] Z. Ma, "Mitigation of thermal effects in bridges," *J. Bridge Eng.*, vol. 12 (10), 2025
- [3] NZGBC, *Thermal Bridge Reference Document*, New Zealand Green Building Council, 2024.
- [4] M. J. Moran dan H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 8th ed. Wiley, 2017.
- [5] Y. Yogaswara, "The Development of Experimental Sets for Measuring Linear Thermal Expansion Coefficient of Metal," *J. Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*, vol. 5, no. 1, pp. 23–34, 2021
- [6] J. M. Betz et al., "Accuracy, Precision, and Reliability of Chemical Measurements," *Analytical Chemistry*, vol. 82, no. 15, pp. 6494–6500, 2010
- [7] R. Gozali, "Alat ukur muai panjang logam," Depok, Indonesia: FMIPA UI, 13–14, 14 Juni 2012
- [8] P. Kristanto, *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran*. Yogyakarta, Indonesia: Andi, 2018.
- [9] Faradiba, *Buku ajar untuk mata kuliah Metode Pengukuran Fisika*. Jakarta, Indonesia: Universitas Kristen Indonesia, 2020.
- [10] H. Santoso, A. Linory, M. B. Waluyo, A. Rosman, *Rancang Bangun Alat Uji Muai Panjang Material Logam Berbasis Pemanas Elektrik dan Dial Indikator*, *JFT : Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 10 (2), 2023
- [11] S. Sumardi, "Analisa akurasi dan presisi alat uji muai panjang material logam berbasis pemanas elektrik dan dial indikator," Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univ. Borneo Tarakan, 2022. [Online]. Available: <https://repository.ubt.ac.id/repository/UBT13-10-2022-150303.pdf>