



UNIVERSITAS NEGERI PADANG

**ANALISIS HASIL PENGUKURAN ALAT UJI KONDUKTIVITAS
TERMAL PADA TEMPERATUR KERJA 250°C**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik di
Departemen Teknik Mesin FT-UNP*

TUGAS AKHIR

FRETINA SARI

21338038 / 2021

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

PADANG

2025

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Judul : Analisis Hasil Pengukuran Alat Uji Konduktivitas Termal
Pada Temperatur Kerja 250°C
Nama : Fretina Sari
NIM : 21338038
Tahun Masuk : 2021
Program Studi : S1 Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Telah disetujui keasliannya dan diajukan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana

Padang, 30 Oktober 2025

Disetujui oleh:

Koordinator Program Studi
S1 Teknik Mesin



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng.
NIP. 197607062003121001

Dosen Pembimbing,



Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng.
NIP. 197607062003121001

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

*Dinyatakan lulus setelah mempertahankan tugas akhir di depan tim penguji
Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Padang*

Judul : Analisis Hasil Pengukuran Alat Uji Konduktivitas Termal
Pada Temperatur Kerja 250°C

Nama : Fretina Sari

NIM : 21338038

Tahun Masuk : 2021

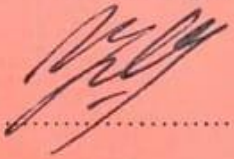
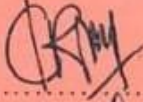
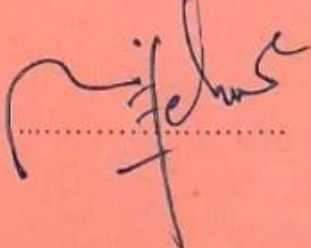
Program Studi : S1 Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Padang, 3 November 2025

Tim Penguji

Nama	Tanda Tangan
1. Ketua : Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D.Eng.	
2. Anggota : Prof. Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T.	
3. Anggota : Rifelino, S.Pd., M.T.	

PERNYATAAN

Dengan ini saya nyatakan bahwa:

1. Karya tulisan saya, Tugas Akhir dengan judul “Analisis Hasil Pengukuran Alat Uji Konduktivitas Termal Pada Temperatur Kerja 250°C” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di Universitas Negeri Padang, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, penilaian, dan rumusan saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain, kecuali arahan dari tim pembimbing dan penguji.
3. Di dalam karya tulis ini tidak terdapat hasil karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali dikutip secara tertulis dengan jelas dan dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila ada kemungkinan hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik, berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh karena karya tulis ini, serta sanksi sesuai dengan norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 3 November 2025
Saya yang menyatakan,



Fretina Sari

NIM. 21338038

ABSTRAK

Fretina Sari, 2025. Analisis Hasil Pengukuran Alat Uji Konduktivitas Termal Pada Temperatur Kerja 250 °C. Tugas Akhir Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur kerja terhadap akurasi hasil pengukuran alat uji konduktivitas termal yang dirancang berdasarkan metode *Comparative Cut-Bar* sesuai standar ASTM E 1225. Analisis dilakukan melalui pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS R2 2025 dan pengujian eksperimen langsung pada temperatur kerja 250°C. Fokus utama penelitian adalah pengaruh beban termal dan gaya mekanis akibat tekanan penjepit terhadap deformasi, tegangan, serta akurasi hasil pengukuran alat.

Simulasi *steady-state thermal* dan *static structural* dilakukan untuk memperoleh distribusi temperatur, deformasi total, regangan termal, serta tegangan equivalent pada komponen alat, khususnya pada spesimen logam kuningan dan AISI 1010. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kenaikan temperatur menyebabkan deformasi total sebesar 0,0051784 mm untuk kuningan dan 0,003785 mm untuk AISI 1010, namun nilai deformasi maksimum masih berada pada batas aman struktur. Sedangkan tegangan equivalent pada *heat source* sebesar 309,69 MPa dengan safety factor 0,98, menandakan potensi deformasi plastis lokal. Uji konvergensi mesh memperlihatkan stabilitas hasil dengan selisih di bawah 2% pada ukuran 3 mm.

Hasil pengujian eksperimental menunjukkan nilai konduktivitas termal spesimen kuningan dan AISI 1010, masing-masing sebesar 102,4 W/m.K dan 75,4 W/m.K mendekati nilai referensi dengan error relatif di bawah 20% dan standar deviasi 16,24 dan 33,9, menandakan stabilitas sistem masih perlu ditingkatkan agar hasil pengukuran lebih konsisten antar pengujian. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur kerja berpengaruh signifikan terhadap karakteristik mekanis dan termal komponen alat uji, namun desain yang digunakan masih dapat mempertahankan keakuratan pengukuran.

Kata Kunci: konduktivitas termal, ekspansi termal, ANSYS R2 2025, *Comparative Cut-Bar Method*, tegangan equivalent, temperatur kerja 250°C.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “***Analisis Hasil Pengukuran Alat Uji Konduktivitas Termal Pada Temperatur Kerja 250°C***”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Strata Satu (S1) di Program Studi S1 Teknik Mesin, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Dalam proses penyusunan penelitian ini, penulis banyak menerima dukungan, arahan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Yolli Fernanda, S.T., M.T., Ph.D. Eng., selaku ketua prodi S1 Teknik Mesin dan pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan ilmu pengetahuan.
2. Prof. Dr. Ir. Arwizet K, S.T., M.T., selaku dosen peninjau satu yang telah memberikan masukan, saran, serta arahan.
3. Rifelino, S.Pd., M.T., selaku dosen peninjau dua yang telah memberikan masukan, saran, serta arahan.
4. Ibu Dr. Rizky Ema Wulansari, S.Pd., M.Pd.T, selaku dosen pembimbing akademik.
5. Bapak Dr. Eko Indrawan, S.T., M.Pd., selaku ketua departemen teknik mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak/Ibu Dosen serta staf administrasi departemen teknik mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

7. Orang tua dan keluarga oleh motivasi, support, serta doa yang senantiasa diberikan.
8. Teman-teman mahasiswa seperjuangan di departemen teknik mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari segenap pembaca guna perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang teknik mesin.

Padang, Oktober 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Konsep Dasar Perpindahan Panas	9
B. Konduktivitas Termal dan <i>Thermal Resistance</i>	13
C. Gaya dan Tegangan Pada Struktur Alat	17
D. Ekspansi Termal	21
E. Metode Pengujian Konduktivitas Termal	26
F. Alat Uji Konduktivitas Termal	29
G. Simulasi menggunakan ANSYS R2 2025	36
BAB III METODE PENELITIAN	38
A. Jenis Penelitian	38
B. Waktu dan Tempat Penelitian	38
C. Diagram Alir	38
D. Instrumen Penelitian	40
E. Prosedur Penelitian	49

F. Teknik Pengumpulan Data	55
G. Analisis Data	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	61
A. Hasil	62
B. Pembahasan.....	88
BAB V PENUTUP	91
A. Kesimpulan	91
B. Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN.....	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perpindahan Panas Secara Konduksi	10
Gambar 2. 2 Perpindahan Panas Secara Konveksi.....	12
Gambar 2. 3 Perpindahan Panas Secara Radiasi	13
Gambar 2. 4 Thermal Contact Resistance	17
Gambar 2. 5 Arah Gaya dan Percepatan	18
Gambar 2. 6 Tegangan Normal Pada Material	19
Gambar 2. 7 Gaya Yang Terjadi Pada Skema Alat.....	20
Gambar 2. 8 Ekspansi Termal Pada Joint Rel Kereta Api.....	22
Gambar 2. 9 Ekspansi Linier Pada Silinder	22
Gambar 2. 10 Penggaris Baja Mengalami Ekspansi Volume.....	23
Gambar 2. 11 Thermal Strain	24
Gambar 2. 12 Thermal Stress	25
Gambar 2. 13 Metode Absolute	26
Gambar 2. 14 Metode Batang Potong Komparatif	27
Gambar 2. 15 Metode Aliran Panas Radial.....	28
Gambar 2. 16 Metode Konduktansi Termal Paralel.....	29
Gambar 2. 17 Skema Alat Uji Konduktivitas Termal Berdasarkan Standar ASTM E 1225	30
Gambar 2. 18 Perpindahan Panas Pada <i>Heat Source</i>	31
Gambar 2. 19 Shell and Tube Heat Exchanger	33
Gambar 2. 20 Double Pipe Heat Exchanger	33
Gambar 2. 21 Plate Heat Exchanger	34
Gambar 2. 22 Compact Heat Exchanger.....	34
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3. 2 Geometri Alat Uji Konduktivitas	40
Gambar 3. 3 Catridge Heater	42
Gambar 3. 4 Heat Source	43
Gambar 3. 5 Tembaga (Meter Bar)	44
Gambar 3. 6 Glass Wool	45
Gambar 3. 7 SSR – 40 DA merek FUFER.....	47
Gambar 3. 8 Temperature Controller REX-C100	47
Gambar 3. 9 Skema Kontrol Suhu Pada Alat Uji.....	48
Gambar 3. 10 (a), (b) Geometri Komponen Untuk Simulasi	51
Gambar 3. 11 Jenis Simulasi	51
Gambar 3. 12 Input Data Material	52
Gambar 3. 13 Import Geometri ke ANSYS	52
Gambar 3. 14 Menentukan Kontak Antar Permukaan	53
Gambar 3. 15 Meshing Geometri.....	54
Gambar 4. 1 Grafik Uji Konvergensi Mesh	63
Gambar 4. 2 Distribusi Temperatur Sistem.....	64
Gambar 4. 3 Distribusi Deformasi Total Pada Komponen.....	65

Gambar 4. 4 Distribusi Deformasi Total Pada Spesimen.....	65
Gambar 4. 5 Distribusi Regangan Termal Pada Komponen	68
Gambar 4. 6 Distribusi Regangan Termal Pada Batang Logam	68
Gambar 4. 7 Distribusi Tegangan Equivalent Spesimen Kuningan.....	70
Gambar 4. 8 Distribusi Tegangan Equivalent Pada Heat Source	70
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Tegangan Equivalent dan Yield Strength Material	71
Gambar 4. 10 Distribusi Temperatur Pada Spesimen AISI 1010	72
Gambar 4. 11 Distribusi Deformasi Total	73
Gambar 4. 12 Distribusi Deformasi Pada Spesimen.....	74
Gambar 4. 13 Distribusi Deformasi Pada Heat Source.....	74
Gambar 4. 14 Distribusi Regangan Komponen	76
Gambar 4. 15 Distribusi Regangan Termal Pada Batang Logam	77
Gambar 4. 16 Distribusi Tegangan Equivalent	78
Gambar 4. 17 Distribusi Tegangan Equivalent Heat Source.....	78
Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Tegangan Equivalent dan Yield Strength Material	79
Gambar 4. 19 Skema Distribusi Temperatur.....	80
Gambar 4. 20 Grafik Distribusi Temperatur Spesimen Kuningan	81
Gambar 4. 21 Grafik Distribusi Temperatur Spesimen AISI 1010	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai Konduktivitas Termal Material (Lavine, 2017).....	14
Tabel 2. 2 Jenis-jenis Termokopel.....	35
Tabel 3. 1 Kondisi Batas Simulasi ANSYS R2 2025.....	49
Tabel 3. 2 Data Deformasi Total Spesimen Kuningan	56
Tabel 3. 3 Data Deformasi Total Spesimen AISI 1010	56
Tabel 3. 4 Data Distribusi Tegangan	56
Tabel 3. 5 Hasil pengukuran Eksperimen	57
Tabel 4. 1 Spesifikasi Ukuran Komponen.....	61
Tabel 4. 2 Properti Material Komponen.....	62
Tabel 4. 3 Uji Konvergensi Mesh.....	62
Tabel 4. 4 Hasil Deformasi Teoritis dan Simulasi.....	66
Tabel 4. 5 Perbandingan Tegangan Equivalent dan Yield Strength Material.....	71
Tabel 4. 6 Perbandingan Deformasi Teoritis dan Simulasi	75
Tabel 4. 7 Perbandingan Tegangan Equivalent dan Yield Strength Material.....	79
Tabel 4. 8 Hasil Pengukuran Eksperimen Spesimen Kuningan	81
Tabel 4. 9 Nilai Konduktivitas Termal Spesimen Kuningan.....	81
Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Eksperimen Spesimen AISI 1010	83
Tabel 4. 11 Nilai Konduktivitas Termal Spesimen AISI 1010	84

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Alat Uji Konduktivitas Termal	99
Lampiran 2. Detail Part Casing.....	100
Lampiran 3. Detail Part Isolator.....	101
Lampiran 4. Detail Part Heat Source, Meter Bar dan Spesimen.....	102
Lampiran 5. Detail Part Water Block	103
Lampiran 6. Detail Part Clamp	104
Lampiran 7. Alat Uji Konduktivitas Termal.....	105
Lampiran 8. Pengujian Alat Uji Konduktivitas Termal 250°C	106
Lampiran 9. Pengecoran Isolator dan Polishing Meter Bar serta Spesimen	107
Lampiran 10. Lembar Konsultasi Bimbingan.....	108

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Material memiliki sifat termal yang mempengaruhi performa dan aplikasinya diberbagai bidang teknik. Sifat-sifat ini meliputi konduktivitas termal, ekspansi termal dan kapasitas panas. Di antara sifat tersebut, konduktivitas termal merupakan parameter penting yang menunjukkan kemampuan material dalam menghantarkan panas (Incropera et al, 2011). Konduktivitas termal didasarkan pada prinsip Hukum Fourier, yang menyatakan bahwa laju aliran panas melalui material sebanding dengan gradien suhu dan luas penampang, serta berbanding terbalik terhadap ketebalan.

Alat uji konduktivitas termal memiliki peran yang sangat krusial dalam menentukan nilai konduktivitas termal suatu material, sehingga material dapat diklasifikasikan secara tepat sebagai konduktor, semikonduktor, atau isolator, yang selanjutnya digunakan untuk pemilihan material pada sistem pemindahan panas, perangkat elektronik, konstruksi, hingga industri manufaktur. Penelitian lanjutan diperlukan untuk menganalisis dan memvalidasi bagaimana temperatur kerja memengaruhi performa mekanik dan termal komponen alat melalui pendekatan numerik dan eksperimental. Analisis ini penting agar alat yang dirancang tidak hanya mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat, tetapi juga memiliki reliabilitas jangka panjang.

Menurut Zhao et al. (2016) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa ada empat metode pengujian kondisi *steady state* yang umum digunakan dalam

struktur alat uji konduktivitas termal, yaitu metode absolut, metode batang potong komparatif, metode aliran panas radial, dan metode konduktansi termal paralel. Di antara metode tersebut, teknik batang potong komparatif lebih mudah diterapkan karena jumlah aliran panas yang mengalir sama dengan aliran panas yang melalui spesimen pengukuran. Teknik ini mengacu pada standar ASTM E 1225 yang tersusun dari komponen *heat source*, spesimen, *meter bar*, dan *heat sink*.

Desain *heat source* dan *heat sink* mempengaruhi efisiensi alat uji. *Heat source* yang baik harus mampu mendistribusikan panas secara optimal dan merata, sedangkan *heat sink* dirancang agar mampu menyerap panas secara merata. Hal ini bertujuan untuk menjaga kestabilan temperatur pada batas material yang diuji, sehingga diperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat. Salah satu penerapan *heat sink* dapat menggunakan *water block*, yang bekerja dengan prinsip aliran fluida pendingin sehingga mampu mengurangi akumulasi panas berlebih dan mempertahankan perbedaan suhu yang stabil selama proses pengujian.

Penelitian lokal oleh (Syukri, 2019), menunjukkan bahwa hasil pengukuran alat uji konduktivitas termal yang dirancang sesuai dengan nilai konduktivitas termal referensi dengan komposisi pembentuk bahan serupa pada bahan uji. Namun terdapat kekurangan pada sistem isolasi alat tersebut dan tanpa *heat sink*. Isolasi yang kurang optimal akan menyebabkan panas menyebar ke lingkungan dan akhirnya dapat mengurangi validitas data yang diperoleh. Dalam buku

Fundamental of Heat and Mass Transfer (Incropera et al., 2011), bahwa isolasi yang baik adalah yang dapat memaksimalkan perpindahan panas.

(Burlian & Khoirullah, 2014) menambahkan bahwa semakin tebal isolasi maka nilai tahanan termal akan semakin tinggi sedangkan nilai laju panas yang keluar akan semakin kecil. Namun, ketebalan isolasi juga dapat memengaruhi peningkatan biaya dan kebutuhan ruang. Sehingga diperlukan penelitian terkait desain isolasi yang lebih efisien untuk menjaga temperatur konstan dan mencegah panas berpindah secara radial ke lingkungan.

Penelitian lain yang berjudul “*Finite Element Method and Cut Bar Method-Based Comparison Under 150°, 175°, and 310°C for an Aluminium Bar*” membahas pengujian konduktivitas termal dengan mengombinasikan metode *Comparative Cut-Bar* dan simulasi numerik *Finite Element Method* (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi 2D dan 3D FEM memberikan hasil distribusi suhu yang sesuai dengan data eksperimen, dengan rata-rata deviasi sekitar 13,5%. Simulasi juga memperlihatkan bahwa sistem dapat beroperasi stabil hingga 310°C, dan secara teoritis dapat digunakan pada suhu hingga 600°C–1000°C dengan modifikasi desain (Duran et al., 2020).

Namun, pada kondisi kerja bertemperatur tinggi, komponen alat uji akan mengalami ekspansi termal yang berpotensi memengaruhi akurasi pengukuran. Perubahan temperatur pada material dapat menghasilkan ekspansi termal yang mengakibatkan tegangan dan regangan termal (Gere & Goodno, 2009). Ketika dua material dengan koefisien ekspansi termal berbeda dipanaskan, perbedaan perubahan ukuran ini menimbulkan tegangan termal dan deformasi mikro pada

antarmuka. Sehingga area kontak efektif berkurang dan celah mikro terbentuk, yang meningkatkan *thermal contact resistance* (TCR) (Wang et al., 2023).

Thermal contact resistance merupakan hambatan yang terjadi di permukaan dua material yang saling bersentuhan (Cengel, 2003). Peningkatan *contact resistance* dapat mengakibatkan kesalahan dalam pengukuran konduktivitas, karena aliran yang seharusnya terdeteksi menjadi terhalang. Hasil penelitian (Prajapati et al., 2018) menunjukkan bahwa *thermal contact resistance* (TCR) antar-layer dalam komponen *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang signifikan yang memengaruhi nilai konduktivitas termal. Dalam praktiknya TCR seringkali diabaikan, terutama dalam metode *steady state*.

Selain aspek termal, penjepitan yang diberikan pada *meter bar* dan spesimen terdapat gaya mekanis yang bekerja. Gaya ini akan memberikan tekanan yang dapat menimbulkan tegangan mekanis, terutama pada logam. Tegangan yang melebihi batas elastis material dapat menyebabkan deformasi plastis, serta berisiko deformasi permanen (Negr, 2025).

Berdasarkan pemaparan di atas, penting dilakukan penelitian untuk menganalisis hasil pengukuran alat uji konduktivitas termal pada temperatur kerja 250 °C. Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana dampak ekspansi termal dan gaya mekanis terhadap performa dan akurasi alat uji konduktivitas termal pada material uji. Untuk mencapai tujuan tersebut, validasi hasil pengukuran akan dilakukan dengan membandingkan hasil eksperimen terhadap nilai referensi menggunakan perhitungan error relatif dan standar deviasi untuk mengukur konsistensi alat uji, serta simulasi ekspansi termal alat

menggunakan perangkat lunak ANSYS R2 2025. Diharapkan hasil penelitian ini bisa memberikan pemahaman mendalam mengenai faktor-faktor yang memengaruhi keakuratan pengukuran konduktivitas termal serta berkontribusi dalam pengembangan alat uji yang lebih efektif dan efisien.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang ada, antara lain:

1. Belum diketahui pengaruh temperatur kerja terhadap kinerja dan hasil pengukuran alat uji konduktivitas termal.
2. Alat uji konduktivitas termal yang dilakukan dalam penelitian lokal memiliki kekurangan pada sistem isolasi, yang dapat menyebabkan kehilangan panas ke lingkungan dan mengurangi validitas hasil pengukuran.
3. Pemanasan pada alat uji dapat menyebabkan ekspansi termal pada komponen alat, yang dapat menghasilkan tegangan dan regangan termal, serta mempengaruhi akurasi pengukuran konduktivitas.
4. TCR yang meningkat akibat perbedaan koefisien ekspansi termal antara material dapat mengakibatkan kesalahan dalam pengukuran konduktivitas, namun sering kali diabaikan dalam metode steady state.
5. Gaya mekanis dari penjepit yang diberikan pada *meter bar* dan spesimen dapat menyebabkan tegangan mekanis, yang jika melebihi batas elastis material, dapat mengakibatkan deformasi permanen atau kegagalan alat.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, dan mengingat luasnya cakupan masalah yang terdapat diidentifikasi, maka disini peneliti akan membatasi masalah penelitian, antara lain:

1. Penelitian ini hanya membahas pengaruh ekspansi termal terhadap komponen batang logam alat uji konduktivitas termal, pada suhu kerja 250°C . Analisis dilakukan menggunakan simulasi ANSYS R2 2025 untuk mengamati deformasi dan regangan termal.
2. Penelitian ini juga dibatasi pada evaluasi pengaruh gaya mekanis dari sistem penjepit dan beban termal terhadap komponen batang logam alat uji, guna meninjau kemungkinan timbulnya tegangan berlebih yang dapat menyebabkan deformasi permanen.
3. Validasi hasil pengukuran nilai konduktivitas termal dilakukan dengan membandingkan hasil eksperimen terhadap nilai referensi menggunakan perhitungan error relatif dan standar deviasi untuk mengukur konsistensi alat uji.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan isi latar belakang, maka penulis menetapkan beberapa rumusan masalah yang akan menjadi fokus penelitian, sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ekspansi termal terhadap komponen batang logam alat uji konduktivitas termal pada suhu kerja 250°C , dan perubahan dimensinya?

2. Bagaimana pengaruh gaya mekanis dari sistem penjepit dan beban termal terhadap tegangan pada komponen batang logam alat uji konduktivitas termal?
3. Sejauh mana akurasi dan konsistensi hasil pengukuran alat uji konduktivitas termal dapat divalidasi dengan perhitungan error relatif dan standar deviasi?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang dikemukakan, maka penulis menetapkan tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh ekspansi termal terhadap komponen batang logam alat uji konduktivitas termal pada temperatur kerja 250°C , serta perubahan dimensi.
2. Memahami dampak gaya mekanis dari sistem penjepitan dan beban termal terhadap komponen batang logam alat uji konduktivitas termal.
3. Untuk menganalisis akurasi hasil pengukuran alat uji konduktivitas termal dengan membandingkan hasil eksperimen dengan nilai referensi, serta untuk menilai konsistensi hasil pengukuran menggunakan perhitungan error relatif dan standar deviasi.

F. Manfaat Penelitian

Pembuatan tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menyelesaikan program studi S1 Teknik Mesin dan mengembangkan alat uji konduktivitas termal sebagai alternatif yang lebih akurat.
2. Menambah literatur dan referensi mengenai optimasi sistem isolasi

termal dan *heat sink* dalam alat uji konduktivitas termal berdasarkan standar ASTM E 1225.

3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai dasar untuk pengembangan alat uji konduktivitas termal lokal yang lebih efisien dan akurat.
4. Membantu peneliti dalam merancang alat uji konduktivitas termal yang mempertimbangkan kestabilan temperatur dan ketahanan termal alat.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui simulasi numerik menggunakan ANSYS R2 2025 dan pengujian eksperimen konduktivitas termal berdasarkan *Comparative Cut-Bar Method* pada spesimen kuningan dan AISI 1010, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Simulasi menunjukkan bahwa kenaikan temperatur menyebabkan terjadinya ekspansi termal pada seluruh komponen logam, yang tercermin dari nilai deformasi total dan regangan termal. Nilai deformasi terbesar terjadi pada material kuningan, yaitu sebesar 0,0051784 mm, sedangkan AISI 1010 hanya mengalami deformasi 0,003785 mm. Perbedaan nilai ini konsisten dengan koefisien ekspansi termal (α) material. Kuningan memiliki nilai α lebih tinggi dibandingkan AISI 1010, sehingga perubahan dimensinya lebih besar ketika dipanaskan pada temperatur 250°C. Hal ini menegaskan bahwa respon deformasi pada alat uji sangat dipengaruhi oleh sifat fisik material penyusunnya.
2. Nilai tegangan equivalent (Von Mises) tertinggi terjadi pada area *heat source* dengan besar 309,69 MPa, yang sedikit melebihi batas *yield strength* material sebesar 305 MPa. Karena *yield strength* merupakan batas elastisitas material, nilai *safety factor* yang rendah menandakan bahwa integritas struktural *heat source* perlu dievaluasi, baik melalui optimasi desain

maupun pemilihan material yang lebih tinggi kekuatannya. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan alat pada temperatur kerja 250°C berpotensi menyebabkan deformasi plastis pada bagian tersebut, terutama jika digunakan secara berulang dalam jangka panjang.

3. Hasil pengujian eksperimen konduktivitas termal menunjukkan nilai yang mendekati sebesar $102,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ untuk kuningan dan $75,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ untuk baja AISI 1010. Jika dibandingkan dengan nilai referensi literatur ($110 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ dan $63,9 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), diperoleh galat relatif antara 6,9% hingga 17,9% dengan standar deviasi sebesar 16,24 dan 33,9. Hal ini menunjukkan bahwa alat uji memiliki tingkat akurasi yang cukup baik, meskipun masih terdapat variasi hasil antar pengujian.
4. Nilai TCR menunjukkan bahwa sistem memiliki jalur konduksi panas yang efektif. Namun, *Thermal Contact Resistance* (TCR) tetap menjadi faktor penting yang memengaruhi akurasi hasil pengukuran.
5. Fluktuasi panas pada sumber pemanas, variasi tekanan penjepit, serta kehilangan panas (*heat loss*) ke lingkungan menjadi faktor tambahan yang menimbulkan ketidakstabilan temperatur. Ketiga faktor ini menyebabkan perbedaan temperatur antar titik ukur menjadi tidak linier, sehingga nilai konduktivitas termal hasil eksperimen berbeda dengan hasil referensi.
6. Secara keseluruhan, pengaruh temperatur kerja 250°C terbukti memengaruhi respons mekanik komponen alat uji melalui ekspansi termal, regangan termal, dan tegangan mekanik. Ketiga parameter ini berkaitan langsung dengan sifat mekanik material, yaitu koefisien ekspansi termal,

modulus elastisitas, dan yield strength. Respons mekanik ini pada akhirnya berkontribusi terhadap akurasi pengukuran konduktivitas termal. Walaupun alat uji masih mampu memberikan hasil yang berada dalam rentang nilai referensi, peningkatan pada desain kontak, pemilihan material, dan sistem penjepitan sangat diperlukan untuk meningkatkan konsistensi dan akurasi alat secara keseluruhan.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan alat uji dan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pengujian lanjutan disarankan dilakukan pada variasi temperatur di bawah 250°C untuk menentukan batas optimal kinerja alat serta memastikan kestabilan hasil pengukuran pada kondisi operasi yang lebih aman dan mencoba pada material logam yang lain.
2. Material *heat source* sebaiknya diganti dengan logam yang memiliki yield strength yang tinggi guna mengurangi kemungkinan terjadinya deformasi dan tegangan termal berlebih pada saat pengujian bersuhu tinggi.
3. Sistem isolasi termal dan heat sink perlu ditingkatkan agar kehilangan panas (*heat loss*) ke lingkungan dapat diminimalkan, sehingga aliran panas yang melewati spesimen menjadi lebih efisien dan stabil.
4. Kualitas kontak antar permukaan komponen perlu diperbaiki dengan memperkecil celah dan menambahkan lapisan konduktor termal (seperti

thermal paste), serta melakukan kalibrasi alat sebelum setiap pengujian untuk memastikan akurasi dan konsistensi hasil pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

ANSYS Inc. (2024). *ANSYS Granta EduPack 2024: Material Data for Engineering and Design*. ANSYS, Inc.

<https://www.ansys.com/products/materials/granta-edupack>

ANSYS Inc. (2023). *ANSYS Mechanical User's Guide: Structural and Thermal Analysis Modules*. Canonsburg, PA: ANSYS, Inc.

Asmi, S., Sukirman, S., Supriyadi, S., & Sulhadi, S. (2021). Pengembangan Alat Praktikum Konduktivitas Termal Zat Cair pada Geometri Silinder Berbasis Sensor Suhu. *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*, 6(1), 9–16.
<https://doi.org/10.17509/wapfi.v6i1.32384>

Burlian, F., & Khoirullah, M. I. (2014). Pengaruh Variasi Ketebalan Isolator Terhadap Laju Kalor dan Penurunan Temperatur pada Permukaan Dinding Tungku Biomassa. *Seminar Nasional Mesin Dan Industri, November*, 208–214.

Cengel, Yunus A. and Ghajar, A. J. (2015). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818503-2.00004-6>

Cengel, Y. A. (2003). *Heat Transfer: A Practical Approach* (2nd ed.). McGraw-Hill. <https://doi.org/10.5408/0022-1368-4.2-2.83>

Duran, J. E. E. G., González-Rodríguez, O. J., Zamora-Antuñano, M. A., Rodríguez-Reséndiz, J., Méndez-Lozano, N., Meléndez, D. J. G., & García, R. G. (2020). Finite element method and cut bar method-based comparison under

- 150ffi, 175ffi and 310 ffiC for an aluminium bar. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/app10010296>
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* Halliday & resnick 10ed. In *Wiley*.
- Hung Anh, L. D., & Pásztor, Z. (2021). An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102604>
- Incropera, F. P. and et al. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Incropera, F. P. and et al. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (7th ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Jatnika, R. W., Ajiwiguna, T. A., & ... (2018). Pengaruh Beban Kalor Terhadap Thermal Resistance Pada Heat Sink Fan. *EProceedings ...*, 5(3), 5754–5761. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/7244%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/download/7244/7125>
- Lavine, T. L. B. and A. S. (2017). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. In ベインクリニック学会治療指針 2 (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Luo, Q. L. and G. F. and X. Y. and P. N. and L. (2011). Compact heat exchangers: A review and future applications for a new generation of high temperature solar receivers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 4855–4875.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.066>

Negr, D. C. (2025). *Structural Analysis of a Bending Device Support Plate*
Structural Analysis of a Bending Device Support Plate through Finite Element
Analysis. June. <https://doi.org/10.9734/bpi/erpra/v8/5731>

Petrosync. (2024). *Shell and Tube Heat Exchanger: Definition, Components, and*
Working Principle. <https://www.petrosync.com/blog/shell-and-tube-heat-exchanger/>

Prajapati, H., Ravoori, D., Woods, R. L., & Jain, A. (2018). Measurement of
 anisotropic thermal conductivity and inter-layer thermal contact resistance in
 polymer fused deposition modeling (FDM). *Additive Manufacturing*,
 21(February), 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.02.019>

Rompas, F. J. (2012). *Perpindahan Kalor*. Universitas Sam Ratulangi.

Sleiti, Ahmad and Al-Ammari, Wahib and Al-Khawaja, Mohammed and Saker, A.
 (2022). Experimental investigation on the performance of a novel thermo-
 mechanical refrigeration system driven by an expander-compressor unit.
Applied Thermal Engineering, 212, 118635.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118635>

Syukri, R. (2019). *Perencanaan Alat Uji Konduktivitas Termal Bahan*. Universitas
 Negeri Padang.

Tanyildizi, M. (2022). Joints in Rigid Pavements. *4 Th Advanced Engineering*
Days, September, 1–5. <https://www.researchgate.net/publication/364128699>

- Wang, C., Lin, Q., Pan, Z., Hong, J., & Zhou, Y. (2023). Effect of the secondary microcontact state induced by the all-factor thermal effect on bidirectional thermal contact performance. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 142, 106646. <https://doi.org/10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2023.106646>
- Wu, J. (2018). *A Basic Guide to Thermocouple Measurements*. September, 1–37.
- Zhang, Y., & Lu, T. (2017). Unsteady-state thermal stress and thermal deformation analysis for a pressurizer surge line subjected to thermal stratification based on a coupled CFD-FEM method. *Annals of Nuclear Energy*, 108, 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.04.034>
- Zhao, D., Qian, X., Gu, X., Jajja, S. A., & Yang, R. (2016). Measurement techniques for thermal conductivity and interfacial thermal conductance of bulk and thin film materials. *Journal of Electronic Packaging*, 138(4). <https://doi.org/10.1115/1.4034605>