



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS PERBANDINGAN KONDUKTIVITAS TERMAL  
PADA MATERIAL LOGAM DENGAN PENDEKATAN  
METODE ANGSTROM BERDASARKAN VARIASI PERIODE  
GELOMBANG SINUSOIDAL**

**PROPOSAL RESEARCH MODULE PRAKTIKUM FISIKA  
LANJUTAN II**

**SULTAN FAHD MUHAMMAD BAHRUDDIN YUSUF**

**2106724031**

**KHAIRUNNISA SYAHIRAH NAIFAH**

**2106724126**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI SARJANA FISIKA**

**DEPOK**

**Juni 2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

Proposal penelitian ini diajukan sebagai syarat untuk melakukan tugas akhir Praktikum Fisika Lanjutan II dalam bentuk research module oleh:

Nama Praktikan 1 : Sultan Fahd Muhammad Bahrudin Yusuf  
NPM : 2106724031  
Nama Praktikan 2 : Khairunnisa Syahirah Naifah  
NPM : 2106724126  
Nama Pembimbing : Muhammad Rizki Nugroho  
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Konduktivitas Termal pada Material Logam dengan Pendekatan Metode Angstrom menggunakan variasi periode Gelombang Sinusoidal.

Depok, Juni 2023

Diajukan oleh,

Praktikan 1

Praktikan 2



Sultan Fahd Muhammad B.Y

NPM: 2106724031

Khairunnisa Syahirah Naifah

NPM: 2106724126

Menyetujui

Pembimbing 1

CoPJ

Muhammad Rizki Nugroho

NPM: 2006535104

Abriel Adryansah

NPM: 1906348076

## **DAFTAR ISI**

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>v</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>6</b>
1.1. Latar Belakang.....	6
1.2. Rumusan Masalah.....	7
1.3. Batasan Masalah.....	8
1.4. Tujuan Penelitian.....	8
1.5. Manfaat Penelitian.....	8
1.6. Metodologi.....	8
1.7. Sistematika Penulisan.....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>11</b>
2.1. Karakteristik Material Padat (Solid).....	11
2.1.1. Keramik.....	11
2.1.2. Polimer.....	12
2.1.3. Logam.....	13
2.2. Konduktivitas Thermal pada Logam.....	13
2.2.1. Tembaga.....	13
2.2.2. Aluminium.....	14
2.2.3. Stainless Steel 304.....	14
2.2.4. Kuningan.....	15
2.3. Pengukuran Konduktivitas Material Logam.....	15
2.3.1. Metode Searle untuk menentukan nilai konduktivitas.....	16
2.3.2. Metode Angstrom untuk Menentukan Nilai Konduktivitas.....	17

<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	<b>19</b>
3.1. Arsitektur Menentukan Konduktivitas Termal pada Material Logam....	19
3.2. Pengaruh Fenomena Efek Peltier pada Konduktivitas Termal.....	20
3.3. Pengolahan Data dengan Metode Data Analisis.....	20
3.4. Analisis Metode Angstrom.....	21
3.5. Jadwal dan Tempat Penelitian.....	23
3.5.1. Tempat Penelitian.....	23
3.5.2. Jadwal Penelitian.....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>24</b>
4.1. Pengambilan Data.....	28
4.2. Pengolahan Data Menggunakan Metode Angstrom.....	28
4.2.1 Konduktivitas Termal pada Logam Alumunium, Kuningan, dan Tembaga Menggunakan Metode Angstrom.....	28
4.3. Analisis Hasil.....	30
<b>BAB V SARAN DAN KESIMPULAN</b>	<b>32</b>
5.1. Kesimpulan.....	32
5.2. Saran.....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>34</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Diagram Alur Penelitian	9
<b>Gambar 3.1.</b> Arsitektur Analisis Konduktivitas Termal Menggunakan Metode Angstrom	
<b>Gambar 2.1</b> Alat Uji Konduktivitas Termal	11
<b>Gambar 2.2</b> Visualisasi metode angstrom menggunakan gelombang sinusoidal	13
<b>Gambar 3.1.</b> Arsitektur Analisis Konduktivitas Termal Menggunakan Metode Angstrom	15
<b>Gambar 3.2.1</b> Percobaan metode Angstrom pada Aluminium	19
<b>Gambar 4.2.1</b> Gelombang panas periode 30s pada Aluminium	21

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2.1</b> Percobaan Metode Searle pada Tembaga	15
<b>Tabel 2.2.</b> Percobaan Metode Searle pada Baja Stainless	16
<b>Tabel 3.5.2</b> Rencana Jadwal Penelitian	18
<b>Tabel 4.2.1</b> Nilai Konduktivitas pada Logam Alumunium	23
<b>Tabel 4.2.2</b> Nilai Konduktivitas pada Logam Kuningan	26
<b>Tabel 4.2.3</b> Nilai Konduktivitas pada Logam Tembaga	26

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Pada Bab I ini, akan dibahas pendahuluan penelitian yang dilaksanakan penulis. Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, serta skematik penulisan.

#### **1.1. Latar Belakang**

Pada saat ini, material logam banyak digunakan sebagai komponen dasar suatu produk diberbagai industri manufaktur (Putri, 2015). Penggunaan material logam perlu dikaji lebih dalam karena sebelum diaplikasikan dalam industri harus diketahui dahulu peruntukannya, supaya material tersebut dapat dioptimalkan dalam penggunaannya (Fratandha et al, 2016). Salah satu karakteristik material logam yang diperhatikan sebelum digunakan yaitu kerapatan logam tersebut yang dapat mempengaruhi proses perpindahan energi. Ilmu pengetahuan yang membahas tentang hubungan antara panas dan bentuk energi disebut dengan ilmu termodinamika (Young, 2002).

Termodinamika merupakan dasar dari sistem energi dan dapat diartikan sebagai sains dari energi. Termodinamika diambil dari kata *therme* (kalor) dan *dynamis* (bergerak) yang secara bahasa diartikan sebagai kalor yang bergerak taa (Reza et al, 2021). Apabila di dalam suatu sistem terdapat perbedaan suhu, maka akan terjadi perpindahan energi. Proses perpindahan energi itu disebut dengan perpindahan kalor, yang dimana merupakan ilmu yang menjelaskan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara benda atau material (Suparno, 2009).

Perpindahan kalor pada umumnya dibedakan mejadi tiga cara perpindahan kalor yang berbeda, yaitu konduksi (conduction), radiasi (radiation), dan konveksi (convection) (Yunus, 2009). Pada penelitian ini, akan menggunakan perpindahan panas secara kodusi ke beberapa jenis logam untuk mengukur nilai konduktivitasnya. Jenis logam yang akan digunakan, yaitu tembaga, kuningan, alumunium, dan stainless steel. Proses perpindahan kalor secara konduksi akan

mengalir dari daerah yang suhunya lebih tinggi menuju daerah yang suhunya lebih rendah (Kreith, 1997).

Material dari logam tersebut memiliki karakteristik dan sifat tersendiri, salah satunya adalah konduktivitas termal material. Konduktivitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas (Cengel, 2010). Nilai konduktivitas termal digunakan dalam dunia industri sebagai acuan untuk menentukan sifat yang diinginkan dari sebuah material. Dengan mengetahui nilai konduktivitas termal suatu material, kita dapat menentukan bagaimana penerapan panas dan waktu yang dibutuhkan agar material tersebut mencapai karakteristik yang diinginkan, serta mengurangi risiko kesalahan dalam proses perlakuan panas yang diterapkan pada bahan tersebut (Stefenson et al, 2023).

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran perubahan arus listrik terhadap waktu pada material logam. Hal ini yang akan menimbulkan efek peltier, dimana efek tersebut adalah jika logam dialirkan listrik, maka logam tersebut akan mengalami konduktivitas termal (Ramdini, 2014). Untuk menentukan nilai konduktivitas pada penelitian ini dipergunakan metode Angstrom. Data yang diperlukan di dalam metode tersebut diperoleh melalui gelombang panas sebagai model aliran panasnya. Data-data yang diperoleh ini diamati oleh sistem instrumentasi berbasis mikrokontroller melalui sensor pengindra berupa sekumpulan termistor. Selanjutnya data tersebut akan diteruskan ke sistem komputer menggunakan aplikasi LABVIEW dan hasilnya berupa tampilan grafis yang menghasilkan data interpretasi dan diolah dengan menggunakan metode Angstrom (Lina et al, 2012).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai konduktivitas termal pada bahan aluminium, tembaga, stainless steel 304, dan kuningan.
2. Bagaimana mendapatkan nilai konduktivitas termal bahan aluminium, tembaga, stainless steel 304, dan kuningan sangat mendekati literatur



3. Bagaimana nilai konduktivitas termal dapat memengaruhi sifat dari suatu material.
4. Apakah metode Angstrom akurat untuk mengukur nilai konduktivitas suatu material.

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah penelitian yang ditetapkan adalah:

1. Terdapat 4 Material yang digunakan, yaitu kuningan, aluminium, tembaga, dan stainless steel 304
2. Alat pengukuran konduktivitas termal menggunakan PASCO

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah mencari nilai konduktivitas termal pada bahan aluminium, tembaga, stainless steel 304, dan kuningan mendekati nilai literturnya serta menganalisis pengaruh nilai konduktivitas termal terhadap sifat suatu material menggunakan metode Angstrom.

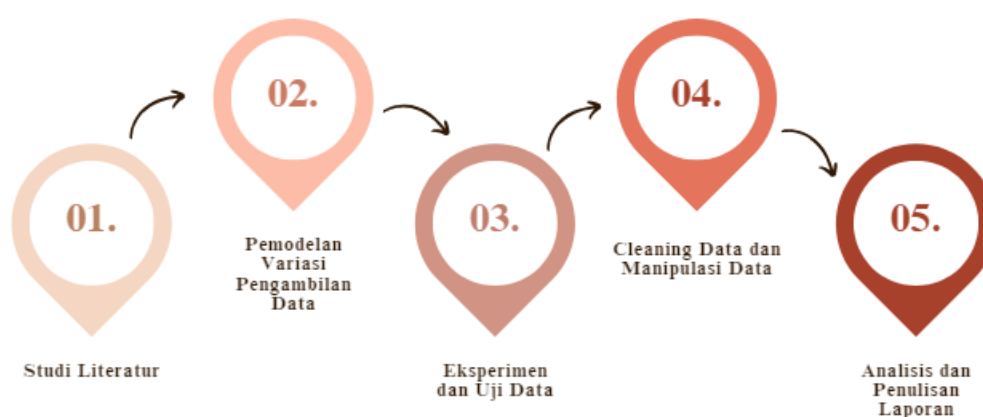
### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah mengetahui bahwa metode angstrom merupakan salah satu metode yang cukup akurat untuk menentukan nilai konduktivitas sebuah material logam yang mendekati nilai literturnya.

### **1.6. Metodologi**

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbandingan konduktivitas termal pada material logam dengan pendekatan metode angstrom menggunakan gelombang sinusoidal pada Periode 30s, 40s, dan 50s. Tahapan penelitian ini diawal dengan tahapan studi literatur penelitian-penelitian terkait. Hasil yang didapatkan dari tahap studi literatur menjadi dasar untuk penulis mendapatkan nilai eksperimen yang mendekati nilai literatur. Pemodelan variasi pengambilan data digunakan untuk memvariasikan data agar didapatkan nilai eksperimen yang

mendekati nilai literatur. Eksperimen serta uji data mengacu pada studi literatur penelitian-penelitian terkait. Cleaning data, manipulasi data, dan visualisasi data yang dilakukan agar didapatkan hasil eksperimen yang sesuai dengan studi literatur terkait. Evaluasi dan analisis dari hasil yang didapatkan pada tahap eksperimen. Tahapan terakhir merupakan penulisan skripsi berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.



**Gambar 1.1.** Diagram Alur Penelitian

### 1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal ini terdiri dari tiga bab yang mengacu pada Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia yang dijabarkan sebagai berikut.

Bab I – Berisikan tentang pendahuluan yang menjadi dasar penelitian ini dilakukan. Pada bab ini dijabarkan menjadi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan dalam menyusun proposal skripsi ini.

Bab II – Berisikan tentang kajian pustaka yang digunakan dalam penelitian ini, serta penelitian-penelitian yang relevan, terkait karakteristik material padat, konduktivitas thermal pada logam, dan pengukuran konduktivitas material logam.

Bab III – Berisikan tentang rancangan arsitektur menentukan konduktivitas termal pada material logam. Pengaruh fenomena efek peltier pada konduktivitas menjelaskan bagaimana konduktivitas listrik dapat menjadi konduktivitas termal. Beserta menjelaskan beberapa alat penelitian yang digunakan. Tahapan data analisis menggunakan tiga metode, yaitu *cleaning* data, data *manipulation*, dan data *visualization*. Setelah itu, data yang telah siap digunakan akan diolah secara numerik untuk menentukan konduktivitas termal menggunakan metode Angstrom.

Bab IV – Berisikan tentang pembahasan hasil penelitian yang dilakukan penulis. Akan dibahas mengenai pengambilan data, pengolahan data, dan analisis hasil perbandingan konduktivitas termal pada material dengan pendekatan metode angstrom berdasarkan variasi periode gelombang sinusoidal.

Bab V – Berisikan tentang kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan dan saran dari penulis untuk penelitian berkaitan lainnya yang akan dilakukan kedepannya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisikan tinjauan pustaka untuk menjelaskan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Bab ini dijabarkan menjadi penjelasan terkait pengukuran konduktivitas pada material logam tembaga, aluminium, kuningan, dan stainless steel 304. Penjelasan terkait karakteristik material yang digunakan pada saat aliran panas mencapai keadaan tunak menggunakan metode Angstrom.

#### **2.1. Karakteristik material padat (solid)**

Klasifikasi zat secara khusus diarahkan dan disesuaikan dengan aplikasi tertentu, walaupun dalam aspek tersebut tumpang tindih, tidak ada klasifikasi komprehensif yang cocok untuk tujuan menyeluruh (Marschallek & Jacobsen, 2020). Dalam penelitian ini, bahan padat telah diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama, yaitu logam, keramik, dan polimer, berdasarkan pada susunan kimia dan struktur atom. Selain itu, ada juga bahan komposit yang merupakan hasil kombinasi dari bahan-bahan yang berbeda (Hachette pratique. & Macrolibros), 2018).

##### **2.1.1 Keramik**

Keramik merupakan senyawa antara unsur logam dan unsur bukan logam seperti oksida, nitrida, dan karbida. Contoh bahan keramik umum meliputi aluminium oksida (atau alumina,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), silikon dioksida (atau silika,  $\text{SiO}_2$ ), silikon karbida ( $\text{SiC}$ ), dan silikon nitrida ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Selain itu, ada juga keramik tradisional yang terbuat dari mineral lempung (seperti porselen), semen, dan kaca. Dalam hal perilaku mekanis, bahan keramik cenderung kaku dan kuat, dengan tingkat kekakuan dan kekuatan yang sebanding dengan logam. Mereka juga umumnya sangat keras (Callister, 2007).

Secara historis, keramik dikenal karena kerapuhan yang ekstrim (kurangnya keuletan) dan rentan terhadap fraktur. Namun, keramik modern sedang dirancang untuk meningkatkan ketahanan terhadap fraktur, dan digunakan

dalam peralatan masak, sendok garpu, dan suku cadang mesin mobil. Selain itu, bahan keramik memiliki sifat isolatif terhadap panas dan listrik (memiliki konduktivitas listrik yang rendah) serta lebih tahan terhadap suhu tinggi dan lingkungan yang keras dibandingkan logam dan polimer. Dalam hal karakteristik optik, keramik dapat transparan, tembus cahaya, atau buram, dan beberapa keramik oksida (seperti  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) juga menunjukkan sifat magnetik (Hachette pratique. & Macrolibros), 2018).

### 2.1.2 Polimer

Banyak polimer adalah senyawa organik yang didasarkan pada karbon, hidrogen, dan unsur non-logam seperti oksigen, nitrogen, dan silikon. Mereka memiliki struktur molekul yang sangat besar, sering kali berbentuk rantai dengan tulang punggung atom karbon. Beberapa polimer yang umum dan dikenal adalah polietilen (PE), nilon, poli(vinil klorida) (PVC), polikarbonat (PC), polistiren (PS), dan karet silikon. Bahan-bahan ini umumnya memiliki kepadatan rendah, dan karakteristik mekaniknya berbeda dengan logam dan keramik - mereka tidak kaku dan kuat seperti bahan lain (Hachette pratique. & Macrolibros), 2018).

Selain itu, banyak polimer sangat fleksibel dan elastis (plastik). Plastik banyak digunakan karena memiliki keunggulan seperti ringan, transparan, tahan air, dan harganya relatif murah. Plastik yang digunakan saat ini terbuat dari polimer sintetik, yang terdiri dari bahan kimia yang tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme di lingkungan. Contohnya adalah polistiren, yang sering digunakan sebagai bahan isolator listrik, kemasan makanan, styrofoam, dan mainan anak. Polistiren terdiri dari monomer stiren yang murah dan mudah didapatkan, tetapi sulit terdegradasi oleh mikroorganisme alami (Bambang et al., 2015).

Salah satu kelemahan utama polimer adalah kecenderungan mereka untuk melunak atau rusak pada suhu yang relatif rendah, yang kadang-kadang membatasi penggunaannya. Selain itu, polimer memiliki konduktivitas listrik yang rendah dan tidak bersifat magnetik (Callister, 2007).

### 2.1.1 Logam

Bahan logam terdiri dari unsur logam tunggal atau lebih (seperti besi, aluminium, tembaga, titanium, emas, nikel) dan kadang-kadang juga mengandung sedikit unsur non-logam (seperti karbon, nitrogen, oksigen). Atom-atom dalam logam dan paduan logam tersusun secara teratur dan padat dibandingkan dengan keramik dan polimer. Dalam hal sifat mekaniknya, logam relatif kaku dan kuat, tetapi juga memiliki keuletan tinggi (yaitu, mampu mengalami deformasi dalam jumlah besar tanpa patah), dan tahan terhadap fraktur. Karena itu, logam digunakan secara luas dalam aplikasi struktural (Hachette pratique. & Macrolibros), 2018). Material yang bisa menghantarkan panas secara konduksi sebagian besar adalah logam. Setiap material logam memiliki kemampuan menghantarkan panas yang berbeda-beda sesuai dengan kandungan yang terdapat pada logam tersebut. Untuk mengetahui seberapa cepat dan seberapa besar material dapat menghantarkan panas dan seberapa besar suhu yang dapat berubah pada material tersebut. Maka kita harus mengetahui konduktivitas termal pada material tersebut (Prihartono & Irhamsyah, 2022). Dengan alasan-alasan tersebutlah, penelitian ini memfokuskan bahan material berupa logam.

## 2.2. Konduktivitas Thermal pada Logam

Mekanisme transfer panas pada logam melalui elektron jauh lebih efisien daripada kontribusi panas melalui fonon, karena elektron tidak dengan mudah dihamburkan seperti fonon dan memiliki kecepatan yang lebih tinggi. Logam juga merupakan konduktor panas yang sangat baik karena terdapat jumlah elektron bebas yang relatif besar yang berpartisipasi dalam transfer panas. Konduktivitas termal dari beberapa logam umum dapat dilihat dalam Tabel 19.1, di mana nilai umumnya berkisar antara sekitar 20 hingga 400 W/m-K (Callister, 2007).

### 2.2.1 Tembaga

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083 °C, titik didih 2310 °C, jari-jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu<sup>2+</sup> 0,96 Å. Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Tembaga bersifat racun bagi

makhluk hidup. Secara alami, tembaga adalah logam berwarna kemerahan yang memiliki konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik. Ia juga memiliki sifat-sifat mekanik yang baik, seperti keuletan dan kekuatan yang cukup tinggi. Tembaga digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan konduktor listrik dan termal (Sharpe, Alan G. (2008).

### **2.2.2 Aluminum**

Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol. Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat amfoter yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa (Anton J. Hartono, 1992). Aluminium adalah unsur non ferrous yang merupakan logam ringan yang mempunyai sifat yang ringan, ketahanan korosi yang baik serta hantaran listrik dan panas yang baik, mudah dibentuk melalui proses pembentukan maupun permesinan, dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. (Surdia, 1992).

### **2.2.3 Stainless Steel 304**

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sekitar 12% Cr yang menunjukkan ketahanan korosi karena pembentukan lapisan film kromium oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Stainless steel tahan terhadap korosi dan oksidasi karena adanya unsur yang ditambahkan pada paduan besi carbon seperti nikel, mangan, molybdenum, nitrogen dan elemen lain yang sangat mempengaruhi properties material (Aswan et al., n.d.). Tipe 304 merupakan jenis stainless steel yang paling umum digunakan, terutama di industri makanan karena diklasifikasikan sebagai 'stainless steel food grade'. Tipe ini juga dikenal sebagai '18-8' stainless steel karena mengandung sekitar 18% kromium dan 8% nikel. Stainless steel 304 memiliki sifat yang mudah dibentuk, dapat dilas, dan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, bahkan pada suhu rendah. Bahan ini sering digunakan dalam industri makanan, seperti dalam penyeduhan, pemrosesan susu, pembuatan anggur, serta dalam pipa, panci, proses fermentasi, dan tempat penyimpanan bahan baku. Stainless steel 304 memiliki kemampuan untuk melawan korosi yang disebabkan oleh berbagai zat kimia dari buah-buahan, daging, dan susu. Selain

itu, bahan ini juga umum digunakan dalam wastafel, meja, tempat minum, kulkas, kompor, alat perkakas, dan peralatan memasak (Fawaid et al., n.d.).

#### **2.2.4 Kuningan**

Menurut Supriyanto (2010:50) kuningan pada dasarnya adalah paduan tembaga dengan seng sebagai paduan utama. Biasanya kandungan seng yang terkandung mencapai 40% (Surdia dan Chijiwa, 1987). Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan dan biasanya diklasifikasikan sebagai paduan tembaga. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning keperakan tergantung pada jumlah kadar seng. Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuningan tersebut. Salah satu sifat yang dihargai seng ialah ketahanan korosinya terhadap udara luar. 13 Titik lebur kuningan merupakan paduan tembaga dan seng adalah 900 sampai dengan 1200 dimana titik lebur tersebut tergantung dari paduan tembaga dan seng. Kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras baja. Kuningan sangat mudah dibentuk kedalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik dan umumnya tahan terhadap korosi dari air dan garam. Karena sifat tersebut kuningan digunakan untuk membuat komponen kapal, komponen mesin, benda seni dan alat-alat rumah tangga (Evi Juliati Rahayu, 2018).

#### **2.3. Pengukuran Konduktivitas Material Logam**

Konduktivitas termal merupakan hal yang penting secara signifikan ketika menggunakan material di berbagai industri, terutama material logam. Jika mengetahui nilai konduktivitas suatu bahan, hal ini akan membantu menentukan bahan yang sesuai dengan fungsi yang sedang dibutuhkan (Pangestu, 2023). Semua bahan memiliki kemampuan untuk menghantarkan panas dan listrik. Kemampuan konduksi ini bervariasi dari logam ke logam lainnya, dan variasi tersebut dapat disebabkan oleh keadaan material, yaitu keadaan padat, cair, dan gas. Sebagai contoh, logam padat seperti tembaga, aluminium, kuningan, dan lain-lain dikenal sebagai konduktor yang baik, sementara isolator padat seperti



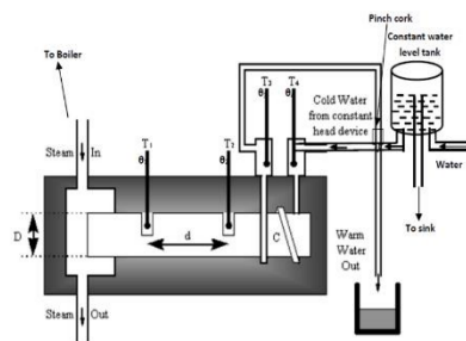
karet, kaca, plastik, dan lain-lain, serta sebagian besar cairan dan semua gas adalah konduktor yang buruk (Ushie, 2014).

Dalam fisika termal, semakin tinggi konduktivitas termal suatu material, semakin cepat panas akan merambat material tersebut. Sebagai contoh, tembaga memiliki konduktivitas termal yang tinggi. Sifat ini menjadikan tembaga digunakan dalam heatsink, di mana panas akan dengan cepat melewati heatsink dan menjauh dari komponen elektronik (Wolff, 2016). Terdapat beberapa metode untuk menentukan nilai konduktivitas termal pada sebuah material, hal ini diperlukan eksperimen secara langsung untuk memprediksi nilai konduktivitas material tersebut (Pangestu, 2023). Metode tersebut terdapat metode Searle dan metode Angstrom.

### 2.3.1. Metode Searle untuk menentukan nilai konduktivitas

Metode Searle merupakan metode yang dilakukan secara eksperimen untuk menentukan nilai konduktivitas sebuah material logam. Prediksi dari metode ini dilakukan dengan menghitung besarnya beda panas pada bahan yang sedang diuji dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan pada bahan tersebut untuk mencapai kondisi tunak (Pangestu, 2023).

**Gambar 2.1** Alat Uji Konduktivitas Termal



Hasil pengujian nilai konduktivitas termal ini di pengaruhi oleh tingkat keakuratan alat ukur dalam mengamati suhu pada material uji. Berikut ini hasil percobaan metode Searle pada bahan tembaga dan stainless (Auliansyah, 2021).

$$k = C_{air} \frac{L}{A} \frac{\Delta m}{\Delta t} \frac{\Delta T_{air}}{\Delta T_{batang}} \dots (1)$$

**Tabel 2.1** Percobaan Metode Searle Pada Tembaga

No	Pembacaan Termometer				$\Delta m$ (kg)	$\Delta t$ (detik)	k (W/m.°C)
	T 1 (°C)	T 2 (°C)	T 3 (°C)	T 4 (°C)			
1	95,1	92,3	30,2	29,3	0,081	120	359,8574
2	95,1	92,3	30,2	29,3	0,163	240	362,0787
3	95,2	92,4	30,3	29,4	0,245	360	362,8192
4	95,2	92,4	30,3	29,4	0,327	480	363,1894
5	95,1	92,3	30,2	29,3	0,409	600	363,4116
6	95,1	92,3	30,2	29,3	0,491	720	363,5596
Rata – Rata nilai koefisien konduktivitas termal							361,7085

**Tabel 2.2** Percobaan Metode Searle Pada Baja Stainless

No	Pembacaan Termometer				$\Delta m$ (kg)	$\Delta t$ (detik)	k (W/m.°C)
	T 1 (°C)	T 2 (°C)	T 3 (°C)	T 4 (°C)			
1	61,8	34,1	28,1	27,4	0,041	120	14,32066
2	61,8	34,1	28,1	27,4	0,083	240	14,4953
3	61,9	34,2	28,2	27,5	0,125	360	14,55352
4	61,9	34,2	28,2	27,5	0,167	480	14,58262
5	61,8	34,1	28,1	27,4	0,209	600	14,60009
6	61,8	34,1	28,1	27,4	0,251	720	14,61173
Rata – Rata nilai koefisien konduktivitas termal							14,4662

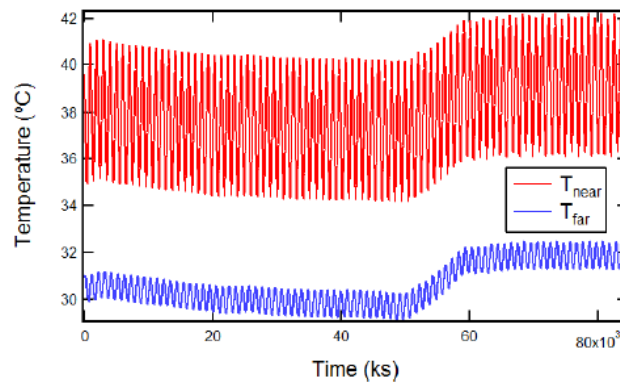
### 2.3.2. Metode Angstrom untuk menentukan nilai konduktivitas

Penggunaan osilasi suhu pada keadaan steady-state untuk pengukuran difusivitas termal pertama kali diusulkan oleh Angstrom pada tahun 1861 dan umumnya dikenal sebagai “Metode Angstrom”. Metode ini melibatkan penerapan sumber panas periodik pada sampel dan menganalisa osilasi suhu yang dihasilkan untuk menentukan difusivitas termal material tersebut (Yuan, 2016).

Pada metode Angstrom ini memiliki kelebihan yaitu menggunakan osilasi suhu dalam keadaan tidak stabil untuk mengukur konduktivitas termal. Hal ini akan menjadikan pengukuran menjadi lebih cepat dibandingkan dengan metode Searle yang membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai kesetimbangan termal. Selain itu metode ini relatif sederhana dalam hal peralatan yang digunakan (Eichhorn, 1963). Metode ini mengandalkan efek peltier untuk

dapat mengukur nilai konduktivitas suatu material dengan mengasumsikan fungsi pemanasan sinusoidal yang sempurna dan mengukur suhu di dua lokasi terpisah (Wolff, 2016).

**Gambar 2.2** Visualisasi metode angstrom menggunakan gelombang sinusoidal



Dengan berbagai alasan tersebut, penelitian ini akan menentukan nilai konduktivitas material tembaga, alumunium, kuningan, dan stainless steel menggunakan metode Angstrom.

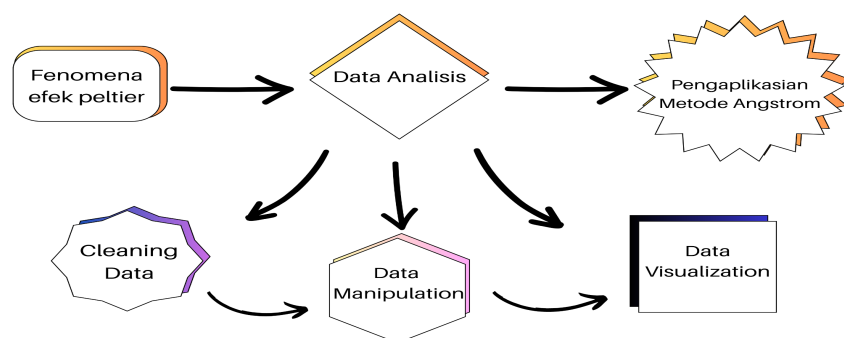
## BAB III

### METODE PENELITIAN

Pada bagian ini, akan dibahas metode yang digunakan dalam penelitian ini. Akan dibahas mengenai cara menentukan konduktivitas termal dari beberapa material logam dengan menggunakan metode Angstrom. Percobaan ini memanfaatkan sebuah efek fisika yang dinamakan efek peltier. Efek ini menyatakan bahwa penyerapan panas dapat terjadi pada penghantar listrik yang diberikan arus listrik. Data yang diperoleh nantinya akan diamati oleh sistem instrumentasi berbasis mikrokontroller melalui sensor berupa beberapa termistor. Data yang terbaca pada sensor akan diteruskan ke sistem komputer menggunakan software LABVIEW, kemudian data tersebut akan divisualisasikan oleh komputer. Jika grafik yang diperoleh telah mengalami kestabilan yang berarti tidak mengalami kenaikan atau penurunan, pengambilan data sudah dapat diselesaikan. Kemudian data tersebut akan diolah menggunakan metode Angstrom.

#### 3.1. Arsitektur Menentukan Konduktivitas Termal pada Material Logam

Penelitian ini memiliki rancangan arsitektur seperti pada Gambar 3.1. Penelitian ini memiliki proses dan cara yang berbeda dengan metode Searle, dimana pada penelitian menggunakan metode Angstrom, digunakan alat yang tidak begitu kompleks serta ramah lingkungan. Data yang telah didapatkan oleh software LABVIEW akan diolah lebih lanjut. Metode pengolahannya yaitu data cleaning, data manipulation, dan data visualisasi. Kemudian melakukan perhitungan secara numerik menggunakan bantuan software Matlab dan R programming.



**Gambar 3.1.** Arsitektur Analisis Konduktivitas Termal Menggunakan Metode Angstrom

Pengambilan data pada penelitian ini tidak ditentukan oleh waktu, melainkan sampai visualisasi grafik sudah mencapai kestabilan pada sensor dekat maupun sensor jauh. Hal ini akan menghasilkan nilai konduktivitas yang mendekati literturnya.

### **3.2. Pengaruh Fenomena Efek Peltier pada Konduktivitas Termal**

Alat Konduksi Panas PASCO digunakan untuk mengamati perbedaan laju konduksi panas melalui batang-batang dengan bahan dan luas penampang yang berbeda. Alat ini terdiri dari empat batang logam, yaitu satu aluminium, satu tahan karat baja, dan dua kuningan dengan penampang yang berbeda. Pada ujung setiap batang, terdapat perangkat Peltier yang digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan batang tersebut. Setiap batang dilengkapi dengan dua termistor 10 k $\Omega$  yang terletak sekitar 3 cm dari satu sama lain. Termistor ini terhubung ke PASPORT Temperature Array (PS-2157) melalui kabel, sehingga data suhu dapat direkam dari kedelapan sensor secara simultan. Untuk mengurangi pertukaran panas dengan lingkungan, jeruji alat dilapisi dengan insulator busa. Termistor yang tertanam di batang diberi label T1 hingga T8, sesuai dengan saluran pada Temperature Array (1 hingga 8) tempat data suhu dikumpulkan. Posisi termistor lain di dalam jeruji ditandai dengan garis-garis pada papan. Sakelar Panas/Dingin digunakan untuk mengubah polaritas tegangan yang diterapkan ke perangkat Peltier, sehingga permukaan bawah perangkat dapat memanaskan atau mendinginkan jeruji. Saat sakelar diatur ke posisi Dingin, perangkat memompa panas dari permukaan bawah ke permukaan atas, dan heat sink membantu menghilangkan panas tersebut. Efek Peltier sendiri adalah teori yang menyatakan bahwa penyerapan panas dapat terjadi pada dua penghantar listrik yang diberi arus listrik pada suhu yang berbeda. Kondisi kedua penghantar adalah terhubung di bagian permukaannya. Rambatan panas yang timbul setiap detik menyebabkan kenaikan suhunya sebanding dengan arus listrik yang mengalir.

### **3.3. Pengolahan Data dengan Metode Data Analisis**

Pada penelitian ini, terdapat tiga data dari setiap variasi periode menggunakan gelombang sinusoidal. Data tersebut memiliki jumlah yang cukup besar, sehingga dibutuhkan software yang dapat membantu dalam data analisis.

Data analisis ini dibagi menjadi tiga bagian secara berurutan, yaitu cleaning data, data manipulation, serta data visualization.

Cleaning data merupakan proses identifikasi, memperbaiki, dan menghapus kesalahan, kecacatan, dan ketidakkonsistenan dalam data set yang digunakan. Tujuan melakukan cleaning data pada penelitian ini terhadap data yang diperoleh adalah untuk membersihkan kecacatan data yang dapat mempengaruhi perhitungan numerik menggunakan metode Angstrom.

Data manipulation merupakan proses mengubah, mengolah, dan mengatur data dalam rangka memperoleh informasi yang lebih bermanfaat atau mempersiapkan untuk analisis lebih lanjut. Pada data yang diperoleh dari hasil cleaning data sebelumnya masih harus di olah pada bagian data independennya, yaitu dikasus ini adalah waktu. Waktu pada data harus dibagi dengan time sampling, karena satu second pada waktu yang diperoleh di penelitian tidaklah terhitung waktu 1 second sesungguhnya.

Setelah data tersebut sudah siap dipakai, selanjutnya data akan divisualisasikan dengan bantuan software matlab. Grafik yang terlihat hanya ditinjau pada saat keadaan grafik tersebut dalam keadaan stabil. Mengambil titik amplitudo tertinggi pada kedua grafik yang terukur pada sensor jauh maupun dekat. Dari menentukan titik tersebut, data amplitudo serta waktu yang didapatkan akan diolah secara numerik menggunakan metode Angstrom.

### **3.4. Analisis Metode Angstrom**

Penelitian ini akan mengukur konduktivitas termal batang logam menggunakan metode Angstrom. Gelombang periodik bergerak ke bawah batang dan gelombang suhu akan yang dihasilkan diukur pada dua titik menggunakan termistor. Difusivitas termal ( $\alpha$ ), dapat ditentukan dengan mengukur amplitudo gelombang suhu pada termistor yang dekat ( $A_c$ ) dan amplitudo pada termistor yang jauh ( $A_f$ ), serta fase relatif ( $\phi$ ) antara kedua gelombang tersebut.

Menurut metode Angstrom,

$$\alpha = \frac{n\omega(\Delta x)^2}{2\phi \ln(\frac{A_c}{A_f})} \dots (1)$$

Dimana  $n$  adalah harmonik,  $\omega$  adalah frekuensi penggerak, dan  $\Delta x$  adalah jarak antara termistor.

Pada penelitian ini, frekuensi penggerak bernilai sangat kecil sehingga lebih mudah untuk mempertimbangkan periode ( $T$ ) gelombang, dimana

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \dots (2)$$

Waktu delay ( $\Delta t$ ) antara dua gelombang diukur secara langsung. Fase relatif ( $\phi$ ) dihitung menggunakan

$$\phi = 2\pi \frac{\Delta t}{T_n} \dots (3)$$

Dimana  $T_n$  adalah periode harmonik, sehingga

$$T_n = \frac{T}{n} \dots (4)$$

Dengan menggabungkan keempat persamaan diatas, didapatkan

$$\alpha = \frac{(\Delta x)^2}{2\Delta t \ln(\frac{A_c}{A_f})} \dots (5)$$

Catatan  $\alpha$  tidak bergantung pada harmonik ( $n$ ) dan frekuensi penggerak ( $\omega$ ) kuantitas yang lebih umum digunakan terkait dengan difusivitas termal, tetapi termasuk kalor jenis ( $c$ ) dan massa jenis ( $\rho$ ) dari sebuah meterial, merupakan konduktivitas termal ( $k$ )

$$k = c\rho\alpha \dots (6)$$

Sehingga persamaan akhirnya sebagai berikut,

$$k = \frac{cp(\Delta x)^2}{2\Delta t \ln(\frac{A_c}{A_f})} \dots (7)$$

### 3.5 Jadwal dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Departemen Fisika FMIPA UI. Jadwal dan tempat penelitian secara rinci dapat dilihat melalui Tabel 3.5.1.

#### 3.5.1 Tempat Penelitian

Laboratorium Fisika Lanjutan, Departemen Fisika. Gedung F, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

#### 3.5.2 Jadwal Penelitian

**Tabel 3.5.2** Rencana Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	2023							
		Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur								
2	Penyusunan Proposal								
3	Sidang Proposal								
4	Eksperimen dan Pengambilan Data								
5	Pengolahan, Analisis, dan Evaluasi Data								
6	Penulisan Research Module								
7	Presentasi Research Module								



## **BAB IV**

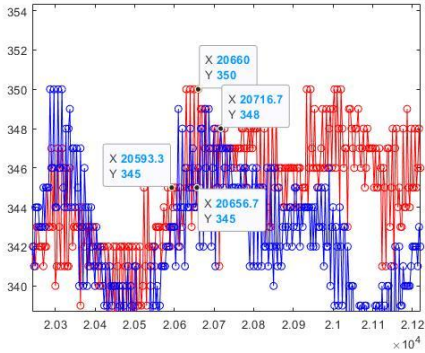
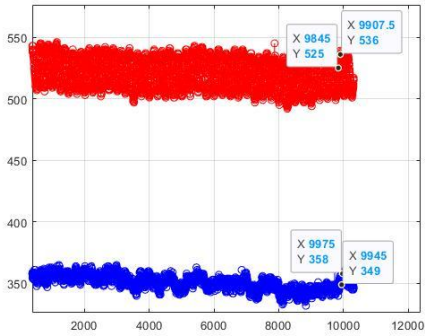
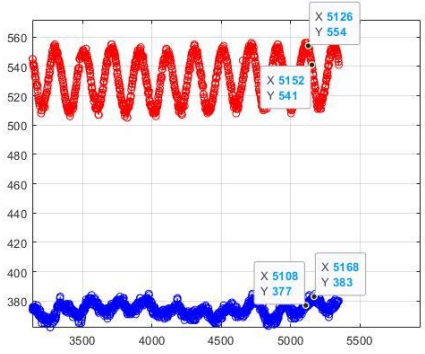
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab IV akan memaparkan hasil penelitian ini serta menjelaskan hasil perbandingan dari eksperimen yang dilakukan dengan literatur. Pada bagian ini akan dibahas mengenai pengambilan data, pengolahan data, dan analisis hasil perbandingan konduktivitas termal pada material dengan pendekatan metode angstrom berdasarkan variasi periode gelombang sinusoidal.

#### **4.1 Pengambilan Data**

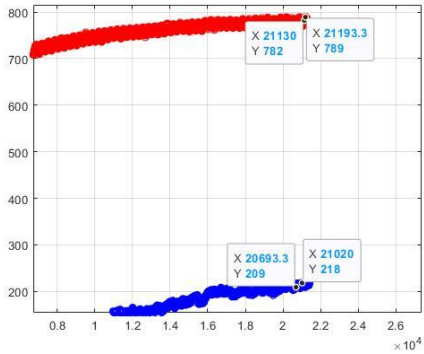
Pengambilan data setiap logam yang akan diuji dipasang dua buah sensor termistor yang akan membaca gelombang panas datang dengan memanfaatkan sifat konduksi termal. Sifat konduksi termal tersebut yaitu efek peltier. Efek ini menyatakan bahwa penyerapan panas dapat terjadi pada penghantar listrik yang diberikan arus listrik. Power supply akan mengalirkan listrik ke perangkat apparatus konduktivitas termal atau PASCO.

PASCO disambungkan ke laptop yang terdapat program LabVIEW untuk memvisualisasikan hasil pengukuran yang didapat. Pada penelitian ini, penulis menggunakan variasi periode gelombang sinus, yaitu 30s, 40s, dan 50s dengan waktu data sampling sebesar 1% periode agar didapatkan hasil pengukuran yang akurat sehingga didapatkan hasil  $k$  yang mendekati literatur. Hasil pengukuran divisualisasikan melalui program LabVIEW pada laptop dalam bentuk grafik dan dikatakan sudah selesai melakukan pengukuran apabila grafik sudah dalam steady-state. Dalam keadaan steady state, penulis dapat melakukan pengamatan dan menganalisis. Berikut visualisasi yang ditunjukkan oleh LabVIEW:

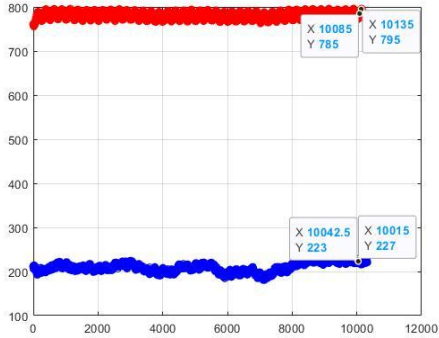
Bahan	Periode
Alumunium	Periode = 30s 
	Periode = 40s 
	Periode = 50s 

Kuningan

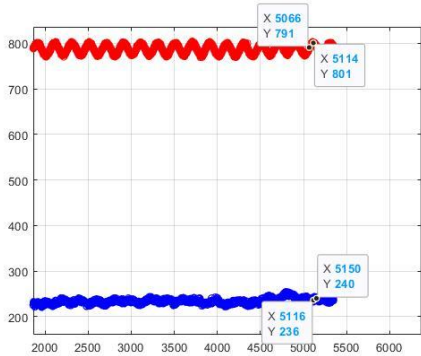
Periode = 30s



Periode = 40s

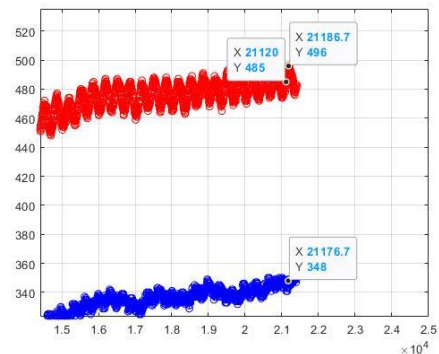


Periode = 50s

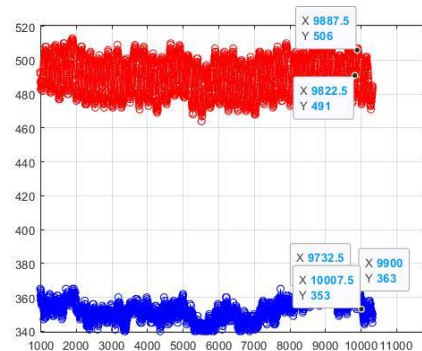


Tembaga

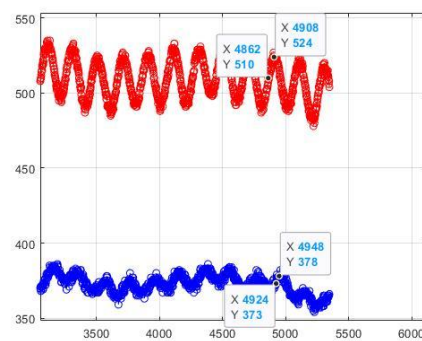
Periode = 30s



Periode = 40s



Periode = 50s



Pada saat pengambilan data, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu pengukuran dikatakan selesai apabila grafik sudah mencapai steady-state, jangan lupa untuk menggunakan cooling apabila ingin melanjutkan dengan variasi yang berbeda agar suhu pada bahan diulang dari awal kembali dan tidak ada suhu panas yang tersisa pada variasi sebelumnya, paham menggunakan program LabVIEW pada laptop yang terinstall, dan memastikan alat dan bahan yang akan

digunakan sudah siap untuk digunakan tanpa ada kerusakan serta kekurangan lainnya.

## 4.2 Pengolahan Data Menggunakan Metode Angstrom

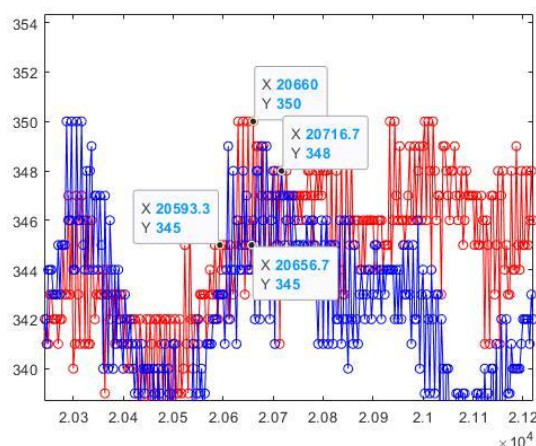
Data eksperimen yang diperoleh dari proses pengambilan data oleh program LABVIEW pada keempat jenis material logam yang digunakan akan melewati tahapan-tahapan data analisis serta akan divisualisasikan kembali untuk menentukan nilai amplitudo tertinggi pada setiap sensor. Pada pengolahan ini hanya menggunakan data pada tiga material logam, di antara lain tembaga, alumunium, dan kuningan. Hal ini karena data pada material *stainless steel* tidak mengalami perubahan dari awal percobaan dilakukan. Hal tersebut disebabkan sensor yang tidak berfungsi atau telah mengalami kerusakan. Oleh karena itu, penulis hanya melakukan pengolahan pada ketiga material logam tersebut.

Data output yang dihasilkan dari program LABVIEW dapat dikatakan masih dalam berupa data mentah. Jika data tersebut divisualisasikan menggunakan program komputer, yang seharusnya sensor terdekat memiliki nilai amplitudo gelombang panas yang cenderung naik seiring berjalannya waktu, melainkan data tersebut mengalami penurunan secara signifikan. Hal tersebut yang membuat data harus diolah agar menjadi data yang lebih bermanfaat.

### 4.2.1 Konduktivitas Termal pada Logam Alumunium, Kuningan, dan Tembaga Menggunakan Metode Angstrom

Data yang telah siap pakai kemudian divisualisasikan untuk menentukan titik amplitudo gelombang panas yang tertinggi pada saat keadaan mencapai kestabilan yang baik. Untuk mencari nilai konduktivitas, dilakukan perhitungan secara analitik menggunakan persamaan metode Angstrom.

$$k = \frac{c\rho(\Delta x)^2}{2\Delta t \ln\left(\frac{A_f}{A_0}\right)} \dots (7)$$

**Gambar 4.2.1** Gelombang panas periode 30s pada Aluminium

pengambilan titik  $A_f$  ataupun  $A_0$  harus diselisih oleh titik setimbang dari gelombang sinusoidal itu sendiri, serta waktu yang digunakan adalah selisih waktu yang ditempuh pada titik  $A_f$  dan  $A_0$ . Hal ini tersebut dilakukan pada setiap logam yang menjadi objek pada penelitian ini. Dengan menggunakan persamaan [7] didapatkan nilai konduktivitas pada setiap logam. Berikut hasil perhitungan,

**Tabel 4.2.1** Nilai Konduktivitas pada Logam Aluminium

Mode	Periode(s)	$A_0$	$A_f$	$\Delta t$	$k$ (W/m.K)	$\bar{k}$ (W/m.K)
SINUS	T= 30s	4	5	56	243.07	245.57
	T= 40s	9	11	61	248.14	
	T= 50s	6	13	16	245.5	
$k_{aluminium}$						245.57
$k_{literatur}$						247
Kesalahan literatur						0.56%

**Tabel 4.2.2** Nilai Konduktivitas pada Logam Kuningan

Mode	Periode(s)	$A_0$	$A_f$	$\Delta t$	$k$ (W/m.K)	$\bar{k}$ (W/m.K)
SINUS	T= 30s	6	7	176	147.06	147,47
	T= 40s	4	5	121	147.77	
	T= 50s	5	10	35	147.59	
$k_{Kuningan}$						147,47
$k_{literatur}$						146.87
Kesalahan literatur						0.41%

**Tabel 4.2.3** Nilai Konduktivitas pada Logam Tembaga

Mode	Periode(s)	$A_0$	$A_f$	$\Delta t$	$k$ (W/m.K)	$\bar{k}$ (W/m.K)
SINUS	T= 30s	4	11	11.3	391.91	394,07
	T= 40s	6	15	12.5	291.14	
	T= 50s	5	14	10.9	399.18	
$k_{Tembaga}$						394,07
$k_{literatur}$						398
Kesalahan literatur						0.98%

### 4.3 Analisis Hasil

Konduktivitas termal merupakan kemampuan suatu material atau bahan untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal dapat dipengaruhi oleh massa jenis dan kalor jenis bahan tersebut. Umumnya, bahan dengan massa jenis yang tinggi cenderung memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena partikel-partikel dalam logam lebih padat atau berdekatan satu sama lain dapat menghambat pergerakan energi panas. Transfer panas dalam logam sebagian besar terjadi melalui konduksi, dimana energi berpindah dari partikel ke partikel melalui tumbukan. Jika partikel logam berdekatan terlalu rapat, kemampuan perpindahan panas antara partikel dapat terhambat. Oleh karena itu, massa jenis tidak secara langsung berkaitan dengan konduktivitas termal, tetapi dapat mempengaruhi cara panas dipindahkan melalui bahan tersebut. Sama halnya dengan kalor jenis, kalor jenis ini juga tidak memiliki korelasi secara langsung dengan konduktivitas termal. Namun, bahan dengan kalor jenis yang tinggi cenderung memiliki kapasitas yang lebih tinggi untuk menyimpan panas. Hal ini disebabkan karena kalor jenis menggambarkan jumlah energi panas yang diperlukan untuk meningkatkan suhu bahan tersebut.

Nilai konduktivitas diperoleh pada logam aluminium sebesar 245.57 W/m.k, tembaga sebesar 394.08 W/m.k, dan kuningan sebesar 147.47 W/m.k. Nilai-nilai konduktivitas ini sangat mendekati dengan nilai konduktivitas literatur dari ketiga logam tersebut sehingga memiliki kesalahan relatif kurang dari 1% pada setiap logam.

Jika meninjau hasil konduktivitas termal pada penelitian ini, metode angstrom merupakan metode yang akurat dalam menentukan nilai konduktivitas termal dibanding metode lainnya yaitu metode Searle. Metode angstrom

menegaskan kepada perbedaan suhu di sepanjang bahan yang digunakan untuk memperhitungkan konduktivitas termal dan mengendalikan sehingga aliran panas dapat stabil melalui kedua bahan yang digunakan. Apabila tidak ada perbedaan suhu yang signifikan di sepanjang bahan, maka aliran panas yang terjadi tidak terlalu jelas untuk memberikan hasil pengukuran yang akurat. Selain itu, perbedaan suhu yang signifikan membantu dalam meminimalkan pengaruh kontaminasi panas di sepanjang bahan. Kontaminasi panas dapat terjadi jika panas yang diterapkan pada salah satu ujung bahan tidak sepenuhnya mengalir melalui bahan, tetapi juga berpindah kesekitarnya serta metode ini juga lebih ramah lingkungan. Tidak menutup kemungkinan jika faktor eksternal dapat mempengaruhi hasil pengukuran, seperti ketelitian pengukuran, peralatan penelitian, serta suhu lingkungan.



## **BAB V**

### **SARAN DAN KESIMPULAN**

Bab V akan memaparkan kesimpulan yang didapat serta saran untuk pengembangan penelitian terkait kedepannya.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Konduktivitas termal menjadi sifat acuan sebuah material dalam menghantarkan panas.
2. Metode Angstrom merupakan metode yang akurat dalam mencari nilai konduktivitas termal suatu bahan logam karena perbedaan suhu di sepanjang bahan yang signifikan berfungsi untuk memastikan aliran panas yang stabil, memperjelas aliran panas dan mengurangi kontaminasi panas di sepanjang bahan.
3. Dalam hal konduktivitas termal, urutan yang tertinggi ke terendah adalah tembaga, alumunium, dan kuningan. Hal ini membuat logam tembaga sebagai konduktor atau penghantar panas yang baik dibandingkan alumunium dan kuningan.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa saran penulis untuk pengembangan penelitian ini kedepannya, yaitu:

1. Saran untuk Peneliti
  - a. Mempelajari mengenai teori dasar tentang Konduktivitas Termal.
  - b. Memahami alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen.
  - c. Memvariasikan gelombang dan periode yang lebih luas lagi.
2. Saran untuk Departemen Fisika Universitas Indonesia
  - a. Menyediakan 1 PC khusus untuk penelitian, supaya penggunaan LABVIEW lebih efektif dan efisien.

- b. Mengganti thermistor yang sudah tidak berfungsi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aswan, D., Ritonga, A., Idris, M., Teknik, J., Sekolah, M., Teknik, T., & Medan, H. (n.d.). *KARAKTERISTIK BAHAN STEEL 304 TERHADAP KEKUATAN IMPAK BENDA JATUH BEBAS*. 6(2), 2017.
- Bambang, O., Dan I, A. H., & Arnata, W. (2015). *TEKNOLOGI POLIMER*.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). Characteristics, Application, and Processing of Polymers. In *Materials Science and Engineering - An Introduction*.
- Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering : an introduction*. John Wiley & Sons.
- Cengel, Y. (2010). *Thermodynamics An Engineering Approach*. McGraw-Hill Higher Education.
- Evi Juliati Rahayu. (2018). *PENGARUH KOMPOSISI KUNINGAN (CuZn)*.
- Fawaid, M., Ismail, R., & Nugroho, S. (n.d.). *Prosiding SNST ke-3 Tahun 2012 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang KARAKTERISTIK AISI 304 SEBAGAI MATERIAL FRICTION WELDING*.
- Hachette pratique., & Macrolibros). (2018). *Les carrés d'Art Thérapie Winnie L'ourson : [Album à colorier]*. Hachette Livre - Département Pratique.
- Marschallek, B. E., & Jacobsen, T. (2020). Classification of material substances: Introducing a standards-based approach. *Materials and Design*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108784>
- Prihartono, J., & Irhamsyah, R. (2022). ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL PADA MATERIAL LOGAM (TEMBAGA, ALUMUNIUM DAN BESI). In *PRESISI* (Vol. 24, Issue 2).  
9780429190575\_previewpdf. (n.d.).
- adas Sanchita, Er. P. R. B. (2015). Measure of Heat Conduction through Copper. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 04(06), 5046–5053. <https://doi.org/10.15662/ijareeie.2015.0406021>
- Analisis Konduktivitas Termal Material Logam Menggunakan Metode Searle (1)\* Stefenson Filiyanto Pangestu, (2) Ayong Hiendro, (3) Muhammad Taufiqurrahman. (2023). In *Hiendro & Taufiqurrahman* (Vol. 4, Issue 1).

- Arman, Y., & Azwar, A. (2021). Konduktivitas Termal Papan Komposit dari Sekam Padi dan Ampas Tebu. *PRISMA FISIKA*, 9(3), 208–212.
- Auliansyah, M. G., Akbar, A., Pramesti, Y. S., & Mesin, T. (n.d.). *Sistem Instrumentasi Alat Uji Konduktivitas Thermal Logam*.
- Depan, P. (n.d.). 2.2. *Instalasi Penelitian*.
- Eichhorn, R. (1964). EFFECTS OF A MODIFICATION TO ANGSTROM'S METHOD FOR THE DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY. In *Int. J. Heat Mass Transfer* (Vol. 7). Pergamon Press.
- Ekonomi, K., Alokatif Pemerintah melalui Pengadaan Barang, P., dan Pengaruhnya Terhadap Perekonomian Indonesia, J., & α, A. (2016). Allocative Role of Government through Procurement of Goods/Services and Its Impact on Indonesian Economy. In *Kajian Ekonomi Keuangan* (Vol. 20, Issue 2). <http://fiskal.kemenkeu.go.id/ejournal>
- E-Modul TERMODINAMIKA SMA/ MA Kelas XI*. (n.d.).
- Ferdika Putri Dewanti - 121903102002*. (n.d.).
- Fratandha, Z. M., Suherman, A., & Komaro, M. (2015). PENGGUNAAN MULTIMEDIA ANIMASI UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS DALAM PEMBELAJARAN MATERI PENGUATAN LOGAM PADA MATA KULIAH MATERIAL TEKNIK. In *Journal of Mechanical Engineering Education* (Vol. 2, Issue 2).
- Jamilah, J. J., Oktavia, F. R., & Nafita, S. W. (2021). Pengaruh Material yang Berbeda Terhadap Laju Perpindahan Panas. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (JUPITER)*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.31851/jupiter.v3i1.5979>
- Kandar, M. (n.d.). Karakteristik Peltier pada Elemen Termoelektrik TEC1-12706 sebagai Efek Seebeck untuk Konversi Energi Alternatif Penghasil Listrik. In *Prosiding Seminar Nasional Energi*.
- Kurnia, H., Dwi Wahyuni, A., Adistyani, N., & Arwan Sulaeman, A. (2023). PENGGUNAAN MATERIAL LOGAM DI BERBAGAI INDUSTRI MANUFAKTUR INDONESIA: SISTEMATIK KAJIAN LITERATUR. *Jurnal Industry Xplore*, 8(1).
- Kurniawan Mainil, A. (n.d.). *SEMINAR NASIONAL MESIN DAN INDUSTRI (SNMI7) 2012 “Riset Multidisiplin Untuk Menunjang Pengembangan Industri Nasional” KAJI EKSPERIMENTAL ALAT UJI KONDUKTIVITAS TERMAL BAHAN*.
- ogston. (n.d.). *Heat Conduction Apparatus TD-8513*. [www.pasco.com](http://www.pasco.com)

- Putri Dewanti, F. (2015). Sistem Pendeteksi Dan Pemisah Material Logam Dan Non Logam Dengan Memanfaatkan Elektromagnet. *Unej Jurnal*, 13(2), 1–16.
- Pochwała, S., Makiola, D., Anweiler, S., & Böhm, M. (2020). The heat conductivity properties of hemp-lime composite material used in single-family buildings. *Materials*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/ma13041011>
- Prihartono, J., & Irhamsyah, R. (2022). ANALISIS KONDUKTIVITAS TERMAL PADA MATERIAL LOGAM (TEMBAGA, ALUMINIUM DAN BESI). In *PRESISI* (Vol. 24, Issue 2).
- Suarsana, K., Astika, M., & Suprpto, L. (n.d.). *KARAKTERISASI KONDUKTIVITAS TERMAL DAN KEKERASAN KOMPOSIT ALUMINIUM MATRIK PENGUAT HIBRID SiCw/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*.
- Supu, I., Usman, B., & Basri, S. (2016). *PENGARUH SUHU TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA MATERIAL YANG BERBEDA*.
- Taruminkeng, S., Mustopa, E. J., & Hendrajaya, L. (2016). *TERMODINAMIKA DALAM MEMAHAMI PROSES PENGOLAHAN MINERAL*. SNF2016-ERE-37-SNF2016-ERE-42. <https://doi.org/10.21009/0305020607>
- Ushie, P. O., Osang, J. E., Daniel, T., Ettah, E., & B1, S. I. (2014). Determination of Thermal Conductivity of Good Conductors using Searle's Bar and IngenHousz Experimental Methods DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF SOME MATERIALS USING SEARLE'S BAR AND INGEN HOUSZ EXPERIMENTAL METHODS. *International Journal of Advance Research*, 2(1). <http://www.ijoar.org>
- Wolff, M. (n.d.). *Measuring Thermal Conductivity by Ångström by Ångström's Method*.
- Zhu, Y. (2016). Heat-loss modified Ångström method for simultaneous measurements of thermal diffusivity and conductivity of graphite sheets: The origins of heat loss in Ångström method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 92, 784–791. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.09.032>