

**RANCANG BANGUN SENSOR PEMUAIAN LOGAM BERBASIS
FIBER OPTIK**

SKRIPSI

Oleh:

DITALIA DWI PUTRI PANGESTU

NIM. 12640033



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

**RANCANG BANGUN SENSOR PEMUAIAN LOGAM BERBASIS
FIBER OPTIK**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
DITALIA DWI PUTRI PANGESTU
NIM. 12640033**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2019**

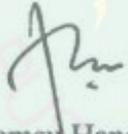
HALAMAN PERSETUJUAN
RANCANG BANGUN SENSOR PEMUAIAN LOGAM BERBASIS
FIBER OPTIK

SKRIPSI

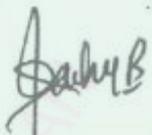
Oleh:
Ditalia Dwi Putri Pangestu
NIM. 12640033

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal, 14 Juni 2019

Pembimbing I


Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II


Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,


Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19740513 200312 1 003

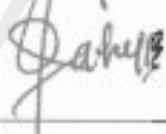
HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SENSOR PEMUAIAN LOGAM BERBASIS FIBER OPTIK

SKRIPSI

Oleh:
Ditalia Dwi Putri Pangestu
NIM. 12640033

Telah Diperiksa dan Disahkan,
Pada Tanggal, 14 Juni 2019

Penguji Utama	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19740513 200312 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M. Si</u> NIDT. 199870215 20180201 2 233	
Sekretaris Penguji	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji	: <u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19740513 200312 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ditalia Dwi Putri Pangestu

NIM : 12640033

Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi / Fisika

Judul Penelitian : Rancang Bangun Sensor Pemuaian Logam
Berbasis Fiber Optik

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 9 Mei 2019

Yang membuat Pernyataan,



Ditalia Dwi Putri Pangestu
12640033

MOTTO

"BERUSAHA TANPA DO'A ITU SOMBONG, BERDOA TANPA BERUSAHA ADALAH BOHONG"

{MY BELOVED}

SLOW DOWN (SABAR)
KEEP ON (ISTIQOMAH)
MOVE ON (HADAPI)
SHINE ON (BERSINAR)

{MY BELOVED}



HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan skripsi ini kepada :

Sang Maha Mengadili dan Mengasihi Allah SWT yang telah memberikan nikmat lahir dan batin atas diri hamba dalam tenang dan keramaian hati. Baginda Rosulullah Muhammad SAW sebagai Guru Besar Umat.

Kedua Orangtua dan Kakak, Radiyono dan Sri Astutik dan Dani Sektian beserta keluarga. Kedua Mertua, Saiful Amiq dan Wahyuni, yang selalu memberikan dukungan moril dan moral serta nasehat ataupun sindiran untuk selalu bangkit dan berjuang dalam setiap susah dan mudah dalam menjalani hidup.

Suami dan anakku, Ghina Qodrussabah dan Mufallihul Majdil Waqi. Sosok Ayah yang mampu menginspirasi dan bertanggungjawab bagi keluarga dan anak bunda yang ikut mencari ilmu bersama bunda, semoga kelak lebih baik dari kami semua. Amiiinn.

Saudara-saudariku yang turut mendoakan dan mendukung saya selama ini.

Seluruh Dosen Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang tak pernah lelah membimbing dan memberikan ilmu selama masa menuntut ilmu.

Semua teman-temanku Fisika angkatan 2012.

Semua Civitas Akademika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillahirobbil'alamiin, puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat, hidayah serta kasih sayang-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Sensor Pemuaian Logam Berbasis Fiber Optik”** ini. Tidak lupa pula sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang, yang penuh dengan ilmu pengetahuan luar biasa saat ini.

Dengan ini penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini tidak lupa juga penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam kegiatan penelitian maupun dalam penyusunan penulisan skripsi ini.

Ucapan terima kasih yang sebesar-sebesarannya penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. Abd. Haris, M.Ag selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang selalu memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku ketua jurusan Fisika dan pembimbing agama. Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Farid Samsu Hananto, M.T Selaku Dosen pembimbing I skripsi ini yang memberikan banyak kesabaran, waktu dan ilmu dalam membimbing penulis agar skripsi ini tersusun dengan baik dan benar.
5. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku Dosen pembimbing II yang dengan sabar senantiasa memberikan arahan agama dalam penulisan skripsi ini.
6. Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si selaku Dosen Penguji yang senantiasa dengan sabar memberikan waktunya dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Segenap Dosen, Laboran, dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan pengarahan.
8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan motivasi dalam penulisan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis sangat menyadari masih ada banyak kekurangan dan kekeliruan dikarenakan keterbatasan kemampuan. Dengan kerendahan hati, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat menambah khasanah pustaka dan bermanfaat bagi orang lain.

Malang, 9 Mei 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pemuaian	6
2.1.1 Pemuaian Panjang	6
2.2 Sensor	8
2.3 Foto Detektor (<i>Photo Detector</i>)	11
2.4 Fiber Optik	12
2.4.1 Dasar-Dasar Serat Optik	14
2.4.2 Prinsip Kerja Serat Optik	16
2.4.3 Serat Optik Berbasis Modulasi Intensitas	19
2.4.4 Jenis Serat Optik Berdasarkan Rambatan Cahaya	23
2.4.5 Sumber Optik	25
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian	28
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.4 Alur Penelitian	29
3.5 Desain Umum	30
3.6 Pengambilan Data	30
3.6.1 Tabel Perbandingan V_{out} dengan Pergeseran pada Mikrometer Sekrup	30
3.6.2 Tabel Perbandingan V_{out} dengan Pertambahan Suhu	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	32
4.1.1 Pembuatan Rancang Bangun dan Prinsip Kerja Sensor Pemuaian Logam Berbasis Fiber Optik	32
4.1.2 Hasil Pengukuran Pergeseran Menggunakan Kaca	34

4.1.2 Hasil Pengukuran Sensor Pemuaiian	35
4.2 Pembahasan.....	40
4.2.1 Karakteristik Sensor Pemuaiian Logam Besi.....	41
4.2.2 Karakteristik Sensor Pemuaiian Logam Tembaga	42
4.2.3 Karakteristik Sensor Pemuaiian Logam Alumunium.....	43
4.2.3 Perbandingan Karakteristik Sensor Temperatur dan Sensor Pemuaiian Logam.....	44
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Besi	36
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Tembaga	37
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Alumunium	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Koefisien Muai Panjang Logam.....	8
Gambar 2.2	Foto Detektor.....	11
Gambar 2.3	Tampang lintang dan profil indeks-bias serat optik step Indeks dan graded-indeks	14
Gambar 2.4	Pantulan Internal melalui sambungan teras-cladding di dalam serat optik step-indeks.....	15
Gambar 2.5	Sensor Serat Optik Ekstrinsik	16
Gambar 2.6	Sensor Serat Optik Intrinsik	16
Gambar 2.7	Desain Sensor Temperatur	18
Gambar 2.8	Setup Peralatan Karakterisasi Multimode Fiber Coupler sebagai Sensor Temperatur	19
Gambar 2.9	Sensor Serat Optik Dengan Metode Transmisi	20
Gambar 2.10	Serat Optik Step Indeks Multimode	23
Gambar 2.11	Serat Optik Grade Indeks Multimode	24
Gambar 2.12	Serat Optik Singlemode Step Indeks.....	25
Gambar 2.13	Struktur Laser Helium Neon	27
Gambar 4.1	Desain Rancang Bangun Sensor Pemuaian Logam Berbasis Fiber Optik	32
Gambar 4.2	Grafik Daerah Kerja Pergeseran Kaca Orde Mikro	34
Gambar 4.3	Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Besi	37
Gambar 4.4	Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Tembaga	38
Gambar 4.5	Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Alumunium.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data dan Perhitungan Kalibrasi Pergeseran Menggunakan Kaca
- Lampiran 2 Perhitungan Nilai Koefisien Pemuaian Panjang Logam Menggunakan
Pembacaan Sensor Pemuaian Logam Berbasis Fiber Optik
- Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian



ABSTRAK

Pangestu, Ditalia Dwi Putri. 2019. **Rancang Bangun Sensor Pemuai Logam Berbasis Fiber Optik**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: Fiber Optik; Sensor; Pemuai; Pergeseran

Data dan perhitungan data pergeseran kaca didapatkan nilai kalibrasi untuk sensor pemuai logam. Dalam pergeseran sebesar 5 μm didapatkan hasil rata-rata perubahan tegangan keluarannya adalah 0,1 mV. Nilai sensitivitas sensor pemuai logam besi, tembaga dan aluminium secara berurutan adalah 0,2153 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, 0,211 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ dan 0,268 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Kalibrasi dipakai untuk menentukan nilai pemuai dari pergeseran kaca oleh masing-masing logam (besi, tembaga dan aluminium) yang dipanasi dengan hasil koefisien muai panjang (α) rata-rata sebesar $1,156 \times 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$ untuk besi, $0,98 \times 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$ untuk tembaga dan $1,38 \times 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$ untuk aluminium. Ketiga hasil lebih kecil dari nilai α pada teori. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam pengukuran. Penyebab terjadinya error pada sensor dimungkinkan mengenai pemanasan pada logam di satu titik dengan menggunakan pemanas sehingga menyebabkan pemuai pada logam tidak secara merata menyebar ke seluruh batang.

ABSTRACT

Pangestu, Ditalia Dwi Putri. 2019. **The Design of Metal Expansion Sensors Using Optical Fiber**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Farid Samsu Hananto, M.T (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Keywords: Fiber Optics; Sensors; Expansion; Shift

Data and calculation of glass shift data were collected from calibration values for metal expansion sensors. In a shift of $5 \mu\text{m}$, the average change in output voltage is 0.1 mV . The sensitivity value of the iron metal expansion sensor, copper and aluminum sequentially are $0.2153 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, $0.211 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, and $0.268 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Besides, calibration was employed to determine the expansion value of glass shifts by each metal (iron, copper and aluminum) heated by the result of long expansion coefficient (α) averaging $1.156 \times 10^{-7} /^\circ\text{C}$ for metal, $0.98 \times 10^{-7} /^\circ\text{C}$ for copper and $1.38 \times 10^{-7} /^\circ\text{C}$ for aluminum. The findings of this study explain that the three results are smaller than α values in theory. This result indicates that the sensor has encountered a measurement error. The cause of an error met in the sensor is presumably because of the heating towards the metal at one point by using a heater so that the expansion of the metal does not evenly spread throughout the stem.

المستخلص

فانغيستو ديتاليا دوي فوتري. تصميم صناعة المحسس لاتساع المعدني باستخدام الألياف البصرية. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) فريد شمس حناط، الماجستير؛ (2) أحمد أبطحي، الماجستير

الكلمات الأساسية: الألياف البصرية، المحسس، الاتساع، النقل، الحديد، النحاس، الألومنيوم

يتم اكتساب البيانات واحتسابها عن تحول المرايا تكتسب قيمة التدرج لمحسس اتساع المعدن. وفي التحول قدر $5 \mu\text{m}$ تكون نتيجته الاستواء من تغير فولطية المخرج هي 0.1 mV . فقيمة الحساسية من محسس اتساع المعدني الحديد، النحاس والألومنيوم على التوالي هي $0.2153 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ، $0.211 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ و $0.268 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. فالتدرج يستخدم لتعيين قيمة الاتساع من تنقل المرايا لكل من المعادن (الحديد، النحاس، الألومنيوم) المسخنة بنتيجة معامل التمدد الطولي (α) بمستوى $1.156 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ للحديد، و $0.98 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ في النحاس و $1.38 \times 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ للألومنيوم. وكل من هذه الثلاثة أصغر من نتيجة (α) في النظرية المعينة. وسبب وقوع الغلطات في المحسس يحتمل أن يتحدث عن سخونة في المعادن في نطاق واحد باستخدام آلة التسخين حتى لا يعم الاتساع إلى جميع النواحي.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada umumnya ukuran suatu benda akan berubah apabila suhunya berubah bila temperatur sebuah benda naik, maka sebuah benda akan mengalami pemuaian. Faktor yang menentukan besarnya pemuaian panjang suatu jenis zat dinamakan koefisien muai panjang (α). Koefisien muai menggambarkan bagaimana ukuran dari suatu perubahan obyek terhadap perubahan suhu. Percobaan terdahulu tentang penentuan nilai koefisien pemuaian panjang aluminium telah dilakukan oleh dengan menggunakan metode pola difraksi pada celah yang saling didekatkan. Pergeseran sebuah logam menunjukkan besarnya tingkat perubahan panjang, luas atau volume dari suatu material dari bentuk awalnya (Jewett, 2009). Dalam penelitian ini, dibuat sebuah sensor pergeseran yang berbasis serat optik yang dapat digunakan untuk menentukan pemuaian logam dalam orde mikro.

Fiber optik (Serat optik) adalah sebuah media transmisi gelombang elektromagnetik yang terbuat dari bahan kaca atau plastik. Prinsip kerjanya menggunakan prinsip pemantulan sempurna (*total internal reflection*) dengan memanfaatkan perbedaan indeks bias antara lapisan *core* atau *cladding*-nya (Udd, 1991). Serat optik merupakan salah satu pilihan pengembangan sensor yang menjanjikan karena keunggulan serat optik tidak kontak langsung dengan objek pengukuran, tidak menggunakan listrik sebagai isyarat, akurasi pengukuran yang tinggi, dan ukurannya yang kecil. Prinsip kerja sensor serat optik dapat

diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu berbasis pada modulasi panjang gelombang, modulasi fase dan modulasi intensitas (Krohn, 2000).

Sensor serat optik telah digunakan untuk mendeteksi beberapa parameter fisis diantaranya adalah deformasi bahan strain bahan, temperatur, vibrasi, konsentrasi gas, pergeseran serta parameter fisis lainnya. Pergeseran mikro merupakan karakteristik awal untuk pengembangan system sensor serat optik. Dalam perkembangannya telah dikembangkan pula sensor serat optik yang berbasis pada sensor pergeseran untuk aplikasi biomedis, industri, dan pendeteksi kekasaran permukaan logam (Connely, 2015). Dalam hal ini, sensor pergeseran serat optik dapat menjadi dasar dari pengembangan sensor untuk mendeteksi parameter-parameter fisis yang lain di berbagai bidang.

Berdasarkan material bahannya, serat optik terdiri dari dua jenis yaitu serat optik gelas (*Glass Optikal Fiber = GOF*) dan serat optik plastik (*Plastic Optical Fiber = POF*). Dibandingkan dengan serat optik gelas, serat optik plastik lebih cocok untuk digunakan pada perangkat penginderaan. POF memiliki keuntungan lebih di antaranya adalah, *numerical aperture* (NA) lebih tinggi, konektivitas mudah, lebih murah dan fleksibilitasnya tinggi (Azadeh, 2009). Pada penelitian sebelumnya juga telah dilakukan analisis pergeseran mikro menggunakan sensor serat optik FD 620-10 (Bayu H. S, dkk, 2014) dan aplikasi *multimode fiber coupler* sebagai sensor temperatur (Yudoyono, 2010).

Merujuk pada keterangan di dalam Al- Qur'an bahwa segala apa yang diciptakan langsung dari Allah ataupun lewat perantara manusia sesungguhnya segalanya tersebut dibuat dengan perhitungan tertentu. Terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam mempelajari ciri atau karakteristik suatu bahan untuk

diketahui manfaatnya. Pandangan Al-Qur'an dalam ilmu teknologi dapat diketahui prinsip-prinsipnya dari analisis wahyu pertama yang diterima oleh Nabi Muhammad SAW, dalam firman-Nya yang berbunyi :

أَقْرَأْ بِأَسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۙ خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ۚ أَقْرَأْ وَرَبُّكَ
الْأَكْرَمُ ۚ الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۚ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝

“ Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam. Dia mengajar kepada manusia apa yang tidak diketahuinya (QS. Al-Alaq 1-5)”

Iqra' terambil dari akar kata yang berarti menghimpun. Dari menghimpun lahir aneka makna seperti menyampaikan, menelaah, mendalami, meneliti, mengetahui ciri-ciri sesuatu, dan membaca baik teks tertulis maupun tidak. Wahyu pertama itu tidak menjelaskan apa yang harus dibaca, karena Al-Qur'an menghendaki umatnya membaca apa saja selama bacaan tersebut bismi Rabbik, dalam arti bermanfaat untuk kemanusiaan. Iqra' berarti bacalah, telitilah, dalamilah, ketahuilah ciri-ciri sesuatu ; bacalah alam, tanda-tanda zaman, sejarah maupun diri sendiri, yang tertulis maupun tidak. Alhasil, objek perintah iqra' mencakup segala sesuatu yang dapat dijangkaunya (Shihab, 1999).

Dengan memperhatikan kelebihan yang ada pada serat optik dan makna perintah dari wahyu pertama nabi tersebut serta perkembangan teknologi dari serat optik sebagai sensor maka pada penelitian ini akan dirancang sebuah alat ukur pemuaiian berbasis serat optik, dimana serat optik digunakan sebagai sensor tranduser pada pengukuran pemuaiian panjang logam. Serat optik dapat digunakan sebagai sensor dengan memanfaatkan prinsip pergeseran mikro yang merepresentasikan informasi perubahan suhu dengan perubahan intensitas cahaya.

Dengan fenomena ini, serat optik dapat digunakan sebagai media pembuatan sensor pada alat pengukuran pemuaian panjang logam dengan memanfaatkan kemampuan sensitivitas cahaya yang tinggi pada serat optik. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa penelitian dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensitivitas cahaya pada pergeseran mikro serat optik akibat pemuaian yang terjadi pada logam dengan nilai ketelitian yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang masalah di atas maka masalah yang akan coba dijawab dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana rancang bangun sensor pemuaian logam berbasis fiber optik?
2. Bagaimana karakteristik sensor pemuaian logam berbasis fiber optik?
3. Bagaimana analisis pergeseran mikro pada serat optik untuk menentukan pemuaian logam dalam orde mikro?

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui rancang bangun sensor pemuaian logam berbasis fiber optik.
2. Mengetahui karakteristik sensor pemuaian logam berbasis fiber optik
3. Mengetahui pengukuran pemuaian logam dalam orde mikro dengan pergeseran mikro pada serat optik.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

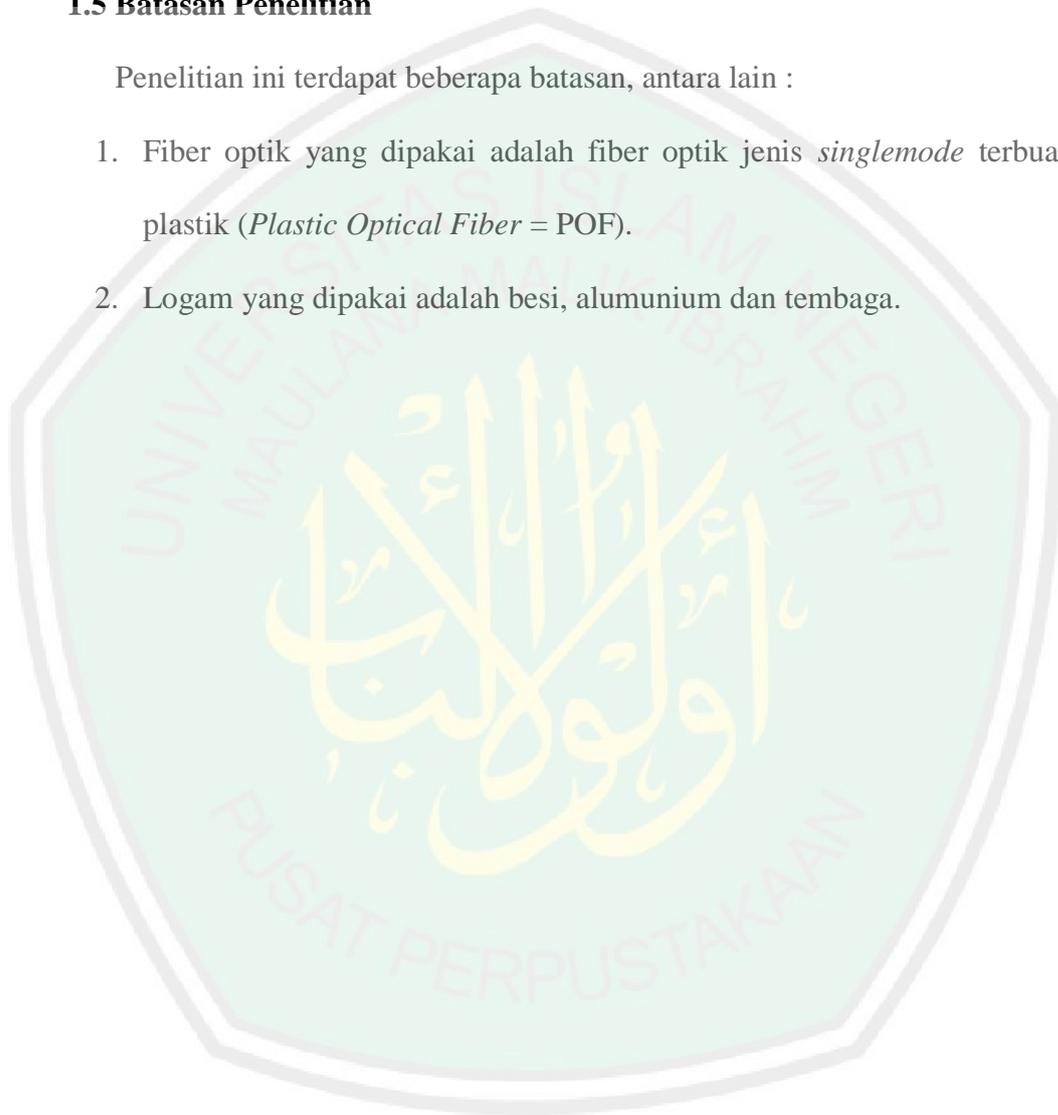
1. Memberikan informasi tentang rancang bangun sensor pemuaian logam berbasis fiber optik.

2. Memberikan informasi karakteristik sensor pemuai logam berbasis fiber optik.
3. Memberikan informasi tentang pengukuran pemuai logam dalam orde mikro dengan pergeseran mikro pada serat optik.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini terdapat beberapa batasan, antara lain :

1. Fiber optik yang dipakai adalah fiber optik jenis *singlemode* terbuat dari plastik (*Plastic Optical Fiber* = POF).
2. Logam yang dipakai adalah besi, aluminium dan tembaga.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemuaiian

Jika dua benda pada suhu berbeda ditempatkan dalam kontak panas (sehingga energi dapat mengalir dari yang satu ke yang lain), kedua obyek akan dapat mencapai suhu yang sama. Benda tersebut dapat dikatakan berada dalam kesetimbangan termal. Suhu merupakan derajat panas suatu benda. Telah dipaparkan bahwa benda bersuhu semakin tinggi maka kandungan kalor pada benda yang sama semakin besar. Suhu benda lebih tinggi berarti tenaga gerak atom atau molekul dari benda itu lebih besar. Tenaga gerak itu dapat terdiri dari tenaga gerak: translasi, rotasi, dan atau vibrasi (getaran). Artinya, bila suhu benda itu rendah maka tenaga gerak atom atau molekul penyusunnya juga kecil. Jika suhu benda terus diturunkan, suatu saat akan mencapai batas dimana bersuhu 0 K atau -273°C . Kalor, biasa disebut termal, bahang atau panas. Saat benda bersuhu lebih tinggi berarti mengandung kalor lebih banyak (Priyambodo, 2009).

2.1.1 Pemuaiian Panjang

Dalam kesetimbangan termal dikenal istilah pemuaiian termal. Kebanyakan benda memuai bila dipanaskan dan menyusut bila didinginkan. Tapi, besarnya pemuain dan penyusutan bervariasi, tergantung pada materialnya (Giancoli, 1997). Pada umumnya jika temperaturnya naik maka jarak rata-rata antar atom-atom naik, sehingga keseluruhan mengalami pemuaiian. Perubahan ukuran pada dimensi linier seperti panjang, lebar, tebal disebut sebagai muai linier (Lesmono, 2014). Jika panjangnya dimensi linier

adalah l , maka perubahan panjangnya, yang berasal dari suatu perubahan temperatur ΔT , adalah Δl . Jika ΔT cukup kecil, maka perubahan panjang Δl adalah sebanding dengan perubahan temperatur ΔT dan sebanding dengan panjang semula l . Maka dapat dituliskan

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Δl adalah pertambahan panjang (m)

l_0 adalah panjang awal (m)

α adalah koefisien muai panjang ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Dengan α yang dinamakan koefisien ekspansi linear (*coefficient of linear expansion*), mempunyai nilai-nilai yang berbeda untuk bahan-bahan yang berbeda. Dengan menuliskan kembali rumus ini maka didapatkan :

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T} \dots\dots\dots(2)$$

Sehingga α mempunyai arti sebagai bagian perubahan panjang per derajat perubahan temperatur. Tegasnya boleh dikatakan, bahwa nilai α bergantung pada temperatur yang sesungguhnya dan bergantung pada temperatur referensi yang dipilih untuk menentukan (Halliday, 2014). Faktor yang menentukan besarnya pemuaian panjang suatu jenis zat dinamakan koefisien muai panjang (α). Koefisien muai panjang menggambarkan bagaimana ukuran dari suatu perubahan obyek terhadap suhu. Satuan α adalah kebalikan dari derajat Celcius ($1/^{\circ}\text{C}$) atau kebalikan Kelvin ($1/\text{K}$). (Tripler, 2001)

Gambar 2.1 Koefisien Muai Panjang Logam

Zat	Koefisien muai panjang ($/^{\circ}\text{C}$)
Aluminium	0,000024
Perunggu	0,000019
Besi	0,000012
Grafit	0,0000079
Kaca	0,000029
Kaca Pyrex	0,0000032
Es	0,000051
Baja	0,000011
Tembaga	0,000017

(<https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Pemuaiian-Zat-2009/konten2.html>)

2.2 Sensor

Proses *sensing* adalah peristiwa tertentu dari transfer informasi, semua transmisi informasi membutuhkan energi transfer. Satu yang harusnya tidak dibingungkan oleh fakta nyata transmisi energi dapat berjalan dalam dua jalan, transmisi energi dapat terjadi dalam bentuk sinyal positif secara baik dan dalam bentuk sinyal negatif. Energi dapat mengalir dari salah satu dari keduanya, dari objek yang akan diukur ke sensor atau sebaliknya. Sebagai contoh, sensor radiasi *thermopile* inframerah akan memproduksi voltase positif ketika objek yang diukur lebih hangat dari sensor (fluks inframerah mengalir dari objek ke sensor) atau negatif voltase ketika sensor lebih hangat dari objek yang diukur (fluks inframerah mengalir dari sensor ke objek yang diukur). Ketika keduanya dalam temperatur yang sama maka fluks inframerah akan bernilai nol dan voltase keluaran akan nol

juga, namun hal ini membawa informasi bahwa temperatur keduanya sama (J. Fraden, 2010).

Istilah sensor seharusnya dibedakan dengan istilah transduser. Sensor adalah pengonversi semua tipe energi menjadi energi lain, pengonversi semua tipe energi ke dalam bentuk energi listrik. Sebagai contoh dari transduser adalah *loudspeaker*, yang mengonversi sinyal listrik menjadi variabel medan magnet setelah itu mengubahnya ke dalam bentuk gelombang akustik. Pada hal tersebut transduser tidak terjadi peristiwa sensing. Transduser mungkin digunakan sebagai aktuator dalam berbagai sistem. Sebuah aktuator mungkin dideskripsikan sebagai lawan dari sensor, aktuator mengonversi sinyal listrik menjadi bentuk energi non listrik. Sebagai contoh, motor listrik adalah aktuator yang mengonversi energi listrik menjadi energi mekanik aksi. Contoh lain adalah aktuator *pneumatic* yang di kendalikan oleh sinyal listrik (J. Fraden, 2010).

Sistem sensor pada umumnya terdiri dari tiga bagian besar yang terpisah yaitu sensor, *signal conditioning* dan data akuisisi. Sistem sensor ini berkembang menjadi sistem sensor yang terintegrasi dimana sensor dan *signal conditioning* digabungkan pada satu keping substrat. Hal ini meningkatkan kecepatan proses sensor dan memperkecil ukuran sensor. Perkembangan terkini adalah menggabungkan ketiga unsur tadi menjadi satu bagian dan dikenal dengan istilah sistem *smart sensor* atau *intelligent sensor*. Ada sedikit kebingungan yang terjadi di masyarakat mengenai istilah *smart sensor* dan *intelligent sensor*. Yang dimaksud dengan *smart sensor* adalah sensornya harus terintegrasi dan *intelligent*

sedangkan bila sensor tidak terintegrasi maka disebut *intelligent sensor* saja (Gardner, 1994).

Smart sensor ini memperbaiki atau meningkatkan *performance* dari sensor dengan cara menggunakan sensor *array* yang identik dan dihubungkan dengan sebuah *microprocessor*. Dengan menggunakan sensor *array*, maka akan dihasilkan *reability* yang lebih tinggi/besar dan mengurangi/memperbaiki kesalahan (*fault tolerance*). Saat ini sensor *array* yang digunakan bisa sensor yang identik namun dapat pula digunakan jenis sensor yang berbeda atau dikenal dengan *multisensor array* (Ryoji, 1992).

Berbicara tentang sensor, kita mengetahui bahwa sensor adalah duplikat dari istilah indera. Sebagai ciptaan-Nya yang sempurna, kita banyak memiliki indera. Seperti mata sebagai indera penglihat, hidung sebagai indera pencium, lidah sebagai indera perasa, telinga sebagai indera pendengar dan kulit sebagai indera peraba. Dalam Al-Qur'an juga disebutkan dalam surat An-Nisa' ayat 56 yang berbunyi :

إِنَّ الَّذِينَ كَفَرُوا بِآيَاتِنَا سَوْفَ نُصَلِّيهِمْ نَارًا كَلَّمًا نَضِجَتْ جُلُودُهُمْ
بَدَلْنَاهُمْ جُلُودًا غَيْرَهَا لِيَذُوقُوا الْعَذَابَ إِنَّ اللَّهَ كَانَ عَزِيزًا حَكِيمًا ٥٦

“*Sesungguhnya orang-orang yang kafir kepada ayat-ayat Kami, kelak akan Kami masukkan mereka ke dalam neraka. Setiap kali kulit mereka hangus, Kami ganti kulit mereka dengan kulit yang lain, supaya mereka merasakan azab. Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana (QS An-Nisa' 56)*”

Sesungguhnya orang-orang yang mengingkari bukti-bukti yang jelas dan mendustakan para nabi, kelak akan Kami masukkan ke dalam api neraka yang akan menghanguskan kulit mereka. Dan setiap kali rasa pedih akibat siksaan itu hilang, Allah menggantinya dengan kulit yang baru, agar rasa sakitnya berlanjut.

Memang yang menjadi reseptor rasa sakit bukan otak, melainkan kulit karena kulit juga terdapat berbagai macam jenis syaraf yang salah satunya berfungsi sebagai reseptor rasa sakit. Kulit sebagai indera peraba. Kata indera dapat diartikan sebagai sensor bagi tubuh kita yang telah diciptakan oleh Allah SWT dengan kesempurnaan yang tiada tara. Namun semua yang telah kita lakukan terdapat tanggungjawab di akhirat kelak. Sesungguhnya Allah Maha Perkasa dan Maha Bijaksana. Dia akan memberikan siksaan bagi orang yang sampai saat kematiannya tetap mengingkari-Nya. Ayat ini merupakan bukti betapa dahsyatnya siksaan yang diderita oleh penghuni neraka. Sebuah temuan ilmiah membuktikan bahwa urat saraf yang tersebar dalam lapisan kulit merupakan yang paling sensitif terhadap pengaruh panas dan dingin (Shihab, 1999).

2.3 Foto Detektor (*Photo Detector*)

Photo Detector adalah alat untuk mengukur intensitas cahaya . *Photo detector* dapat dibagi menjadi tiga kategori yang berbeda sesuai dengan fungsinya sebagai *photodetectors* berbasis semikonduktor, tabung *photomultiplier*, dan *bolometers photodetectors*. Semikonduktor sejauh ini yang paling umum digunakan sehari-hari. Contohnya adalah foto dioda yang duduk dalam sel foto untuk memantau atau *power button* dan sensor gambar dan video yang digunakan dalam kamera digital (biasanya dari CCD atau CMOS tipe).



Gambar 2.2 Foto Detektor

Karakteristik utama dari fotodetektor antara lain adalah tingkat responsivitas, tingkat sensitivitas, dan efisiensi kuantum. Responsivitas fotodetektor didefinisikan sebagai rasio dari arus pada fotodetektor terhadap daya optik yang masuk pada *device*. Sensitivitas didefinisikan sebagai daya masukan minimum yang masih dapat terdeteksi oleh *device*. Dan efisiensi kuantum didefinisikan sebagai rasio dari jumlah pasangan elektron-hole yang menghasilkan arus listrik terhadap jumlah foton yang menumbuk *device*. Seperti halnya sel surya, fotodetektor pun terdiri dari berbagai struktur, seperti persambungan p-n, persambungan p-i-n, serta persambungan M-S (J. Fraden. 2010).

2.4 Fiber Optik

Penemuan sumber cahaya laser pada tahun 1960 telah membuka jendela baru bagi para peneliti untuk mempelajari serat optik dalam bidang untuk komunikasi optis, sensor dan aplikasi lain dalam dekade yang akan datang. Para peneliti telah melakukan eksperimen dengan cara mentransmisikan berkas cahaya laser pada panjang gelombang yang bervariasi. Di awal perkembangannya, rugi daya serat optik masih besar dan belum dapat menggantikan kabel ko-aksial. Namun sekarang penemuan jenis baru dengan rugi daya kecil sekali. Di dalam aplikasi telekomunikasi, seseorang mencoba untuk meminimisasi beberapa efek sedemikian rupa sehingga transmisi dan penerima sinyal dapat diandalkan. Di sisi lain, dalam bidang sensor serat optik, respons terhadap gangguan eksternal dapat ditingkatkan, sehingga perubahan yang dihasilkan oleh radiasi optik dapat digunakan sebagai ukuran dari gangguan eksternal.

Fiber optik (Serat optik) adalah sebuah media transmisi gelombang elektromagnetik yang terbuat dari bahan kaca atau plastik. Prinsip kerjanya

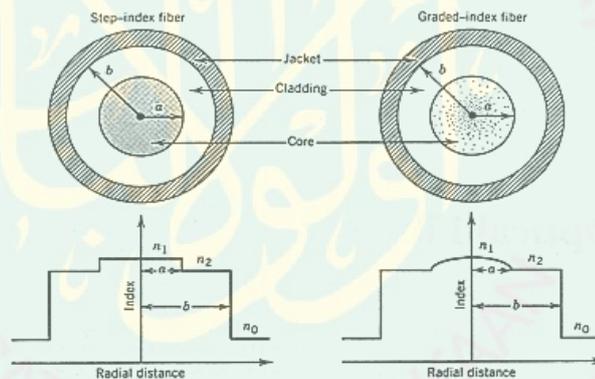
menggunakan prinsip pemantulan sempurna (*total internal reflection*) dengan memanfaatkan perbedaan indeks bias antara lapisan core atau cladding-nya (Udd, 1991). Di aplikasi sensor serat optik, serat optik sebagai modulator dan juga berfungsi sebagai transduser yang mengonversi data pengukuran seperti suhu, stres, ketegangan, rotasi atau arus listrik dan magnetik ke dalam perubahan radiasi optik. Di dalam sub-cabang teknologi serat optik telah memunculkan bidang baru yang disebut Sensor Serat Optik/SSO (*Fiber Optic Sensor/FOS*). Pengembangan sensor serat optik telah dimulai pada tahun 1977 meskipun beberapa demonstrasi bahan serat optik telah dibuat dan dikenalkan sebelumnya. Banyak laboratorium masuk ke dalam bidang sensor dan menghasilkan kemajuan yang sangat pesat. Di dalam bidang sensor serat optik mulai dikembangkan untuk penginderaan suara (Lagakos et al., 2013), tekanan (Budiansky et al., 1979; Hocker, 2010; Lagakos and Bucaro, 1981), suhu (Yariv and Winsor, 1980), medan magnet (Dandridge et al., 1980; Rasleigh, 1981), rotasi (Bergh et al., 1981; Arditty et al., 1981), arus listrik (Dandridge et al., 1981; Tangonan et al., 1980), akselerasi, tingkat cairan, torsi, akustik foto, arus, perpindahan dan lain-lain (Giallorenzi et al., 1982).

Cahaya dicirikan oleh fase, polarisasi, frekuensi, panjang gelombang dan intensitas (amplitudo). Salah satu atau lebih dari parameter fisis ini dapat mengalami perubahan karena adanya gangguan luar. Kemampuan untuk mengukur dan menghitung perubahan secara akurat adalah *state of the art* dalam desain sensor. Di dalam sensor serat optik, informasi dapat disampaikan baik melalui perubahan fase, polarisasi, frekuensi, panjang gelombang, intensitas maupun kombinasi sifat-sifat serat optik tersebut; sedangkan di bagian fotodetektor, merupakan perangkat semikonduktor yang dapat mengindra

intensitas cahaya di bagian permukaan detector tersebut. Oleh karena itu, seni penginderaan melalui modulasi fase, frekuensi atau polarisasi melibatkan untai optis pemrosesan sinyal berbasis *interferometric* atau kisi (Udd, 1991).

2.4.1 Dasar-Dasar Serat Optik

Struktur serat optik terdiri atas teras silinder (diameter < 1,0 mm) yang terbuat dari bahan silika atau polimer organik (plastik) dikelilingi oleh cladding yang mempunyai indeks bias lebih kecil dari pada teras. Serat optik dengan indeks bias teras (n_1) yang bernilai tetap disebut dengan serat step-indeks. Sementara teras yang indeks biasnya berubah secara *gradual* disebut dengan serat *graded index*. Gambar 2.3 menunjukkan skema profil indeks bias dan tampang lintang kedua jenis serat tersebut.



Gambar 2.3 Tampang lintang dan profil indeks-bias serat optik *step*-indeks dan *graded*-indeks

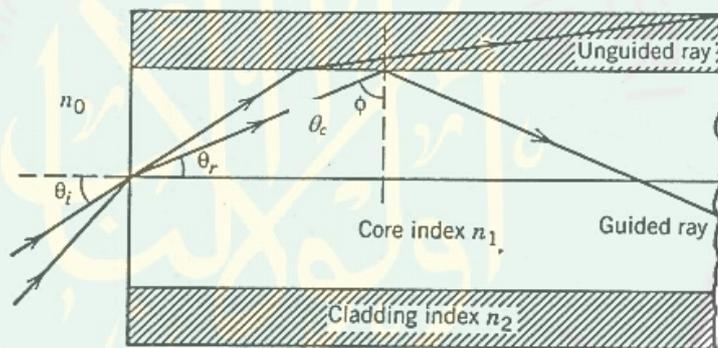
Lintasan berkas cahaya di dalam serat optik secara geometris dapat dilihat Gambar 2, dengan θ_i adalah sudut datang terhadap sumbu aksial teras. Oleh karena pembiasan terjadi pada sambungan serat-udara, berkas akan mendekati garis normal. Sudut bias θ_r diberikan oleh persamaan,

$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \sin \theta_r \dots \dots \dots (3)$$

Dengan n_1 dan n_0 berturut-turut adalah indeks bias teras dan udara, kemudian sinar akan mengenai sambungan teras-*cladding* dan terjadi pembiasan lagi yang terjadi pada keadaan $\sin \theta_p < (n_2/n_1)$, dengan n_2 adalah indeks-bias *cladding*. Untuk sudut yang lebih besar dari pada sudut kritis, didefinisikan sebagai,

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \dots \dots \dots (4)$$

Jika cahaya dengan sudut datang lebih besar dari sudut kritis, maka cahaya akan mengalami pantulan internal total pada sambungan teras-*cladding* sepanjang panjang serat optik sehingga terjadi pemanduan gelombang cahaya sepanjang serat optik tersebut.



Gambar 2.4 Pantulan Internal melalui sambungan teras-*cladding* di dalam serat optik *step*-indeks (Krohn, 2000)

Dalam mencari sudut maksimum sinar datang, dapat digunakan persamaan (3) dan (4) serta hubungan $\theta_r = \pi/2 - \theta_c$ akan diperoleh,

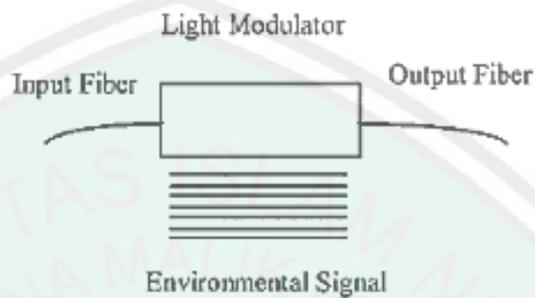
$$n_0 \sin \theta_i = n_1 \cos \theta_c = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (5)$$

Besaran pada persamaan (6) disebut dengan : *numerical aperture (NA)* suatu serat optik. Besaran NA menyatakan tentang kemampuan serat optik untuk mengumpulkan cahaya. Bila $n_1 \approx n_2$, NA akan sama dengan ,

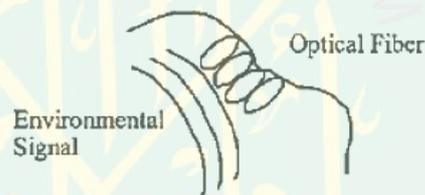
$$NA = n_1 [2(n_1 - n_2/n_1)]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (6)$$

2.4.2 Prinsip Kerja Serat Optik

Sensor serat optik sering dikelompokkan menjadi dua klasifikasi utama, yaitu ekstrinsik dan intrinsik. Sensor serat optik berbasis sensor ekstrinsik dan intrinsik berturut-turut ditunjukkan oleh Gambar 2.5 dan 2.6



Gambar 2.5 Sensor Serat Optik Ekstrinsik (Yu F, 2002)

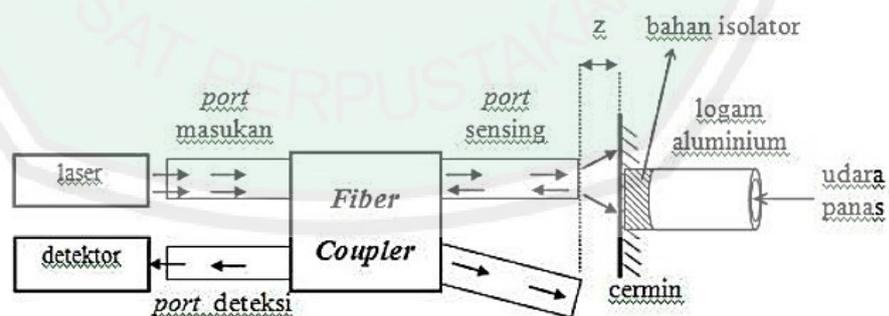


Gambar 2.6 Sensor Serat Optik Intrinsik (Yu F, 2002)

Serat optik ekstrinsik terdiri dari serat optik yang masuk dan keluar kotak hitam (*black box*) yang memodulasi berkas cahaya yang melaluinya dan merespons efek perubahan lingkungan (Gambar 2.5). Serat optik yang masuk ke kotak hitam akan mengindera informasi di dalam berkas cahaya untuk merespons efek perubahan lingkungan. Informasi tersebut dapat diindera dalam bentuk intensitas, fase, frekuensi, polarisasi dan metode lain. Kemudian serat optik dapat menyalurkan cahaya dengan informasi yang sesuai dengan efek perubahan lingkungan dan kemudian dapat dihubungkan ke prosesor optik

dalam bentuk sinyal elektronik. Gambar 2.6 menunjukkan diagram blok sensor intrinsik dengan menggunakan serat optik, berkas cahaya yang merambat dalam serat optik tersebut dimodulasi oleh pengaruh lingkungan secara langsung atau melalui perubahan panjang lintasan yang terimbas oleh efek lingkungan tersebut (Yu F, 2002).

Desain *multimode fiber coupler* sebagai sensor temperatur, mempunyai prinsip kerja sensor temperatur adalah sebagai berikut. Cahaya dari laser diumpankan ke *port* masukan *fiber coupler*, selanjutnya sebagian dari cahaya tersebut dipancarkan oleh *port sensing* menuju ke cermin. Cahaya pantulan dari cermin diterima kembali oleh port sensing dan sebagian cahaya tersebut terkopel menuju ke detektor melalui *port deteksi*. Perubahan posisi cermin (z) mengakibatkan perubahan daya optis yang diterima detektor. Perubahan temperatur logam mengakibatkan terjadinya perubahan panjang logam sehingga cermin mengalami pergeseran. Dengan demikian perubahan temperatur pada logam akan terdeteksi melalui perubahan daya optis (P) yang diterima oleh detektor.



Gambar 2.7 Desain Sensor Temperatur (Yudoyono, 2010)

Dengan demikian perubahan temperatur pada logam akan terdeteksi melalui perubahan daya optis yang diterima oleh detektor. Dengan

menggunakan pendekatan berkas elektromagnetik Gaussian, perubahan daya optis akibat pergeseran cermin diperlihatkan oleh persamaan berikut.

$$P = P_o \left(1 - \exp \left(-\frac{2}{(cz + 1)^2} \right) \right) \dots\dots\dots(7)$$

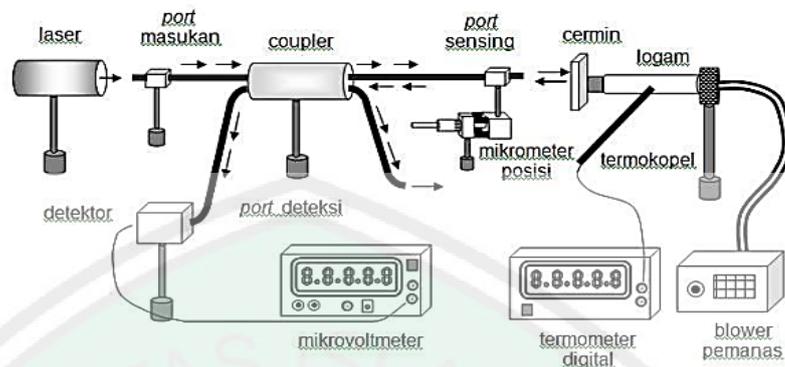
dengan $c = 4 \tan (\theta/d)$, d adalah diameter core serat optik port sensing, sudut θ berkaitan dengan tingkap numerik serat optik dengan hubungan $\theta = \arcsin (NA)$, sedangkan P_o adalah daya optik total (Samian, dkk, 2008). Perubahan panjang logam (ΔL) akibat perubahan temperatur (ΔT) diperlihatkan melalui persamaan berikut.

$$\Delta L = l_0 \alpha \Delta T \dots\dots\dots(8)$$

dengan l_0 dan α masing-masing adalah panjang logam mulamula dan koefisien ekspansi linier logam (Lawrance, 1991). Karena hubungan ΔL linier terhadap ΔT , maka daerah kerja sensor temperatur harus berada pada daerah linier pergeseran cermin terhadap perubahan daya optis yang diterima detektor (Yudoyono, 2010).

Karakterisasi pergeseran cermin terhadap perubahan daya optis bertujuan untuk menentukan daerah linier pergeseran cermin terhadap perubahan daya optis yang diterima detektor. *Set-up* peralatan yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 2 dengan logam aluminium tidak diberi perlakuan pemanasan (blower pemanas tidak diaktifkan). Karakterisasi dilakukan dengan cara menggeser *port sensing* sampai berhimpit dengan cermin menggunakan mikrometer posisi. Setelah berhimpit dengan cermin, *port sensing* digeser

menjauhi cermin dan mencatat daya optis (dalam hal ini berupa besaran tegangan keluaran detektor) setiap pergeseran $10 \mu\text{m}$ (Yudoyono, 2010).

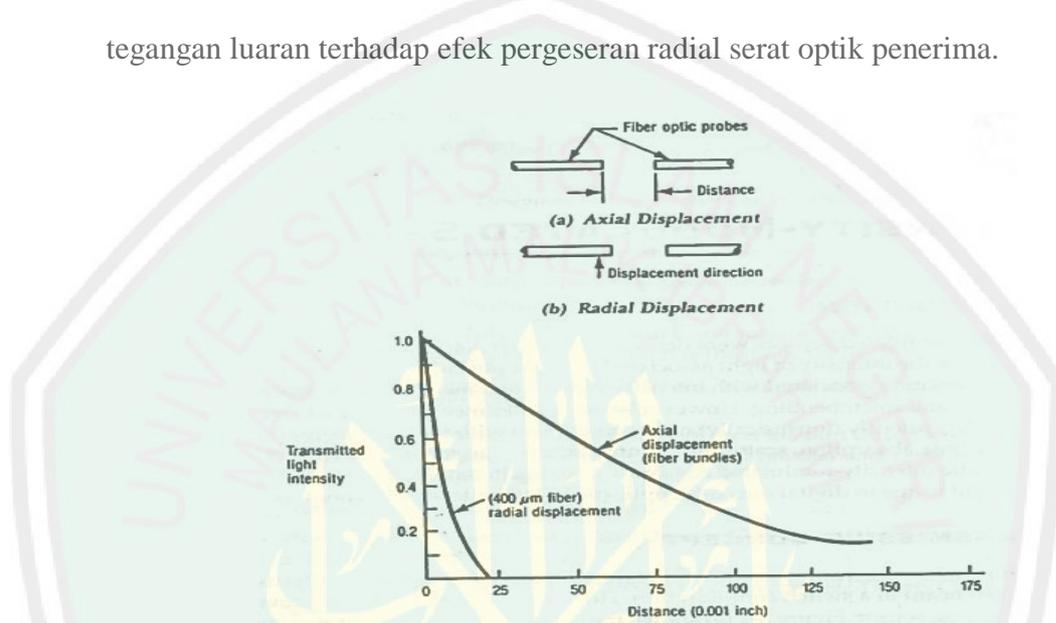


Gambar 2.8 Setup peralatan karakterisasi *multimode fiber coupler* sebagai sensor temperatur (Yudoyono, 2010)

2.4.3 Serat Optik Berbasis Modulasi Intensitas

Sensor serat optik dapat dibagi menjadi lima kategori dasar, yaitu: sensor termodulasi-fase, sensor termodulasi-intensitas, sensor termodulasi-panjang gelombang, sensor berbasis hamburan, dan sensor berbasis polarisasi. Sensor termodulasi-intensitas umumnya terkait dengan perpindahan atau beberapa gangguan fisis lainnya yang berinteraksi dengan serat optik atau transduser mekanis yang terpasang. Metode deteksi berbasis modulasi intensitas mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan dua metode yang lain, yaitu sederhana, biaya murah dan ketelitian tinggi. Sensor optik yang berbasis modulasi intensitas didefinisikan sebagai sensor yang mendeteksi perubahan intensitas berkas cahaya yang berkaitan dengan perubahan lingkungan. Konsep umum yang berkaitan dengan modulasi intensitas meliputi metode transmisi, pantulan dan lekukan-mikro (*micro-bending*). Piranti dasar sensor serat optik terdiri dari sumber cahaya, serat optik dan foto-detektor. Prinsip kerja sensor serat optik secara transmisi berkaitan dengan dua buah serat optik dengan salah

satu serat optik bertindak sebagai penyalur atau pemancar (*transmitting*) berkas cahaya, sementara serat optik yang lain bertindak sebagai penerima (*receiving*) berkas cahaya yang keluar dari ujung serat pemancar. Gambar 2.9 (a) dan (b) menunjukkan susunan probe serat optik untuk pengukuran pergeseran aksial dan pergeseran secara lateral. Gambar 2.8 juga menunjukkan hubungan antara tegangan luaran terhadap efek pergeseran radial serat optik penerima.



Gambar 2.9 Sensor Serat Optik Dengan Metode Transmisi

Selama beberapa tahun ini, serat optik bahan silika digunakan secara luas sebagai bahan utama untuk pembuatan serat optik dalam aplikasi di bidang telekomunikasi dan sensor. Selalu menjadi hal yang menarik di dalam pengembangan POF untuk aplikasi dalam bidang telekomunikasi dan sensor, tetapi teknologi ini cenderung di bawah ‘bayang-bayang’ pendekatan serat optik berbasis silika. Hal ini muncul karena rugi daya serat optik plastik yang tinggi terutama di daerah infra merah dekat. Meskipun demikian, serat ini mempunyai potensi di dalam pasar telekomunikasi yaitu biaya yang relatif lebih murah melalui pengurangan beberapa piranti optik seperti: konektor serat

optik, *packaging* dan instalasi. Serat optik plastik berdiameter besar ($\approx 1-2$ mm), *bandwidth* tinggi dan indeks-landai (*graded index*) dengan rugi daya rendah dapat diaplikasikan dalam bidang sensor, khususnya sistem sensor dengan panjang serat optik pendek (puluhan sampai ratusan meter). Bahan yang sering digunakan untuk pembuatan serat optik plastik jenis *step-index* (indeks bias teras serat optik dengan nilai tetap) adalah *poly_methyl_methacrylate* (PMMA). Bila digunakan bahan tambahan *polimer amorf* (*perfluorinated*) dapat menghasilkan rugi transmisi yang rendah (sekitar 40 dB/km) pada daerah infra merah dekat. Pada tahun 1968 Dupont telah berhasil membuat POF dengan teras (*core*) *step-index* untuk aplikasi dalam bidang komunikasi, kemudian kelompok Asahi Glass Jepang telah berhasil membuat serat optic plastik dengan teras *graded-index* yang dapat mentransmisikan sinyal pada jarak beberapa ratus meter pada panjang gelombang $1,3 \mu\text{m}$ (Grattan, 2000).

Hal tersebut menunjukkan bahwa dampak signifikan perkembangan teknologi sensor serat optik untuk menghasilkan sistem transmisi yang memenuhi syarat kelayakan dalam hal panjang serat optik dan kelenturannya (*flexibility*) untuk menggantikan serat silika di masa yang akan datang. Berbasis teknologi bahan, dapat dikembangkan eksploitasi kelompok baru serat optik seperti POF dengan bahan serat silica yang merupakan komponen dasar telekomunikasi dan dapat diterapkan pada sejumlah teknologi sensor dan jaringannya. Aplikasi POF dalam bidang sensor seperti pengukuran indeks bias bahan dapat dilakukan dengan cara pengupasan di bagian *cladding*, sehingga memungkinkan adanya interaksi

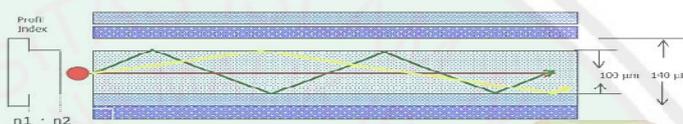
langsung antara bahan cairan dengan berkas cahaya di dalam serat yang dapat menyebabkan perubahan rugi transmisi (Grattan, 2000).

Prinsip pengukuran tersebut dikenal dengan teknik “*fiber tapper*”. Di dalam sistem sensor dengan komponen serat optik plastik, dapat disusun secara sederhana dengan biaya murah. Sebagai contoh sensor serat untuk pengukuran tekanan dinami di kendaraan besar, demikian juga dengan sensor tekanan gas sederhana dan sensor ketinggian cairan telah dikembangkan oleh beberapa peneliti dan serta beberapa aplikasi untuk sensor *stress*, saklar panas (*thermo switch*) dan detektor warna (*colour detector*) juga telah dipublikasikan oleh kelompok kerja ini. Sifat lentur, ringan dan kesederhanaan koneksi yang dimiliki oleh serat optik plastik ini sangat memungkinkan untuk diaplikasikan di bidang otomotif, meskipun ada beberapa kekurangan di dalam pemanfaatan serat optik plastik yaitu keterbatasan terhadap bahan kimia, panas dan *stress* mekanik. Hal lain yang menarik dalam pengembangan POF adalah *doping* POF untuk menghasilkan serat optik yang dapat bersifat *fluoresens* yang menghasilkan berkas cahaya laser. POF yang di-*doping* oleh *scintillator* organik dan zat warna telah dapat menciptakan laser zat warna-serat optik. Baru-baru ini telah berhasil dibuat serat plastik yang di-*doping* oleh unsur tanah jarang (*rare earth*) yang memiliki karakter yang sama dengan serat silika yang di-*doping* oleh unsur-unsur tanah jarang . Selanjutnya, aplikasi OTDR dengan menggunakan laser Nd:YAG dan SHG (*Second Harmonic Generation*) pada panjang gelombang 532 nm telah dikembangkan dengan menggunakan POF yang mempunyai beberapa keuntungan seperti nilai NA yang besar, diameter

besar dan pelemahan rendah. Penggunaan POF pada OTDR ini telah membawa keuntungan yaitu pengukuran di daerah yang terbatas (*confined regions*) dan sulit dijangkau. Dalam bidang ini, dapat dikembangkan POF secara luas untuk menghasilkan sensor yang efektif dan dapat diproduksi secara massal (Morisawa, 1998).

2.4.4 Jenis Serat Optik Berdasarkan Rambatan Cahaya

a. Multimode Step Indeks

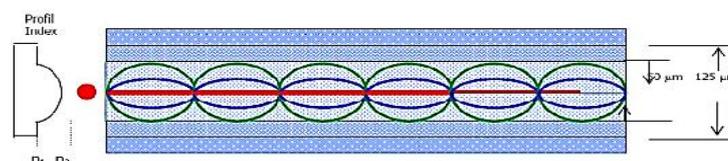


Gambar 2.10 Serat Optik Multimode Step Indeks

Dengan ciri-ciri :

- Indeks bias *core* konstan.
- Ukuran *core* antara 50 – 125 mm dan dilapisi *cladding* yang tipis.
- Penyambungan kabel lebih mudah karena memiliki *core* yang besar.
- Banyak terjadi dispersi.
- Lebar pita frekuensi terbatas/sempit.
- Hanya digunakan untuk jarak pendek dan transmisi data *bit rate* rendah.
- Harga relatif murah (Ananto. 2012).

b. Multimode Grade Indeks

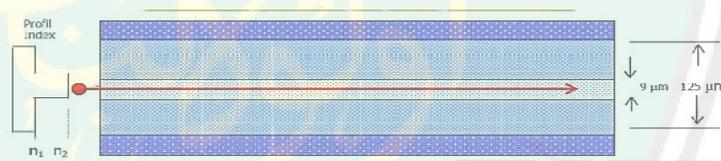


Gambar 2.11 Serat Optik Multimode Grade Indeks

Dengan ciri-ciri :

- *Core* terdiri dari sejumlah lapisan gelas yang memiliki indeks bias yang berbeda,
- Indeks bias tertinggi terdapat pada pusat *core* dan berangsur-angsur turun sampai ke batas *core cladding*.
- Ukuran diameter *core* antara 30 – 60 mm.
- Cahaya merambat karena difraksi yang terjadi pada *core* sehingga rambatan cahaya sejajar dengan sumbu serat.
- Dispersi lebih kecil dibanding dengan multimode step indeks.
- Digunakan untuk jarak menengah dan lebar pita frekuensi besar.
- Harga relatif mahal dari SI, karena faktor pembuatannya lebih sulit (Ananto. 2012).

c. Singlemode Step Indeks



Gambar 2.12 Serat Optik Singlemode Step Indeks

Dengan ciri-ciri :

- Serat optik singlemode memiliki diameter *core* antara 2 – 10 mm dan sangat kecil dibandingkan dengan ukuran *cladding*-nya.
- Cahaya hanya merambat dalam satu mode saja yaitu sejajar dengan sumbu serat optik.
- Memiliki redaman yang sangat kecil.
- Memiliki lebar pita frekuensi yang sangat lebar.

- Digunakan untuk jarak jauh dan mampu menyalurkan data dengan kecepatan *bit rate* yang tinggi (Ananto. 2012).

2.4.5 Sumber Optik

Yang dimaksud dengan sumber optik pada sistem transmisi serat optik berfungsi sebagai pengubah besaran sinyal listrik/elektris menjadi sinyal cahaya/optik (E/O Converter). Pemilihan dari sumber cahaya yang akan digunakan bergantung pada *bit rate* yang akan ditransmisikan dan pertimbangan ekonomi (harga dari sumber cahaya) (Meschede D. 2007).

a. Karakteristik dari sumber optik :

- Emisi cahaya terjadi pada daerah 1 850 nm – 1.550 nm.
- Kopling daya radiasi keserat optik maksimal.
- Dapat dimodulasi langsung pada frekuensi tinggi.
- Mempunyai lebar spektrum yang sempit.
- Ukuran atau dimensi kecil.
- Mempunyai umur kerja dengan jangka waktu relatif lama.

b. Sumber Optik yang Diinginkan :

- Cahaya bersifat monochromatis (berfrekuensi tunggal)
- Mempunyai output cahaya dengan intensitas tinggi
- Dapat dimodulasi dengan mudah (*response time*-nya pendek).
- Dapat menghasilkan *power* yang stabil, tidak tergantung terhadap temperatur dan kondisi lingkungan lainnya.

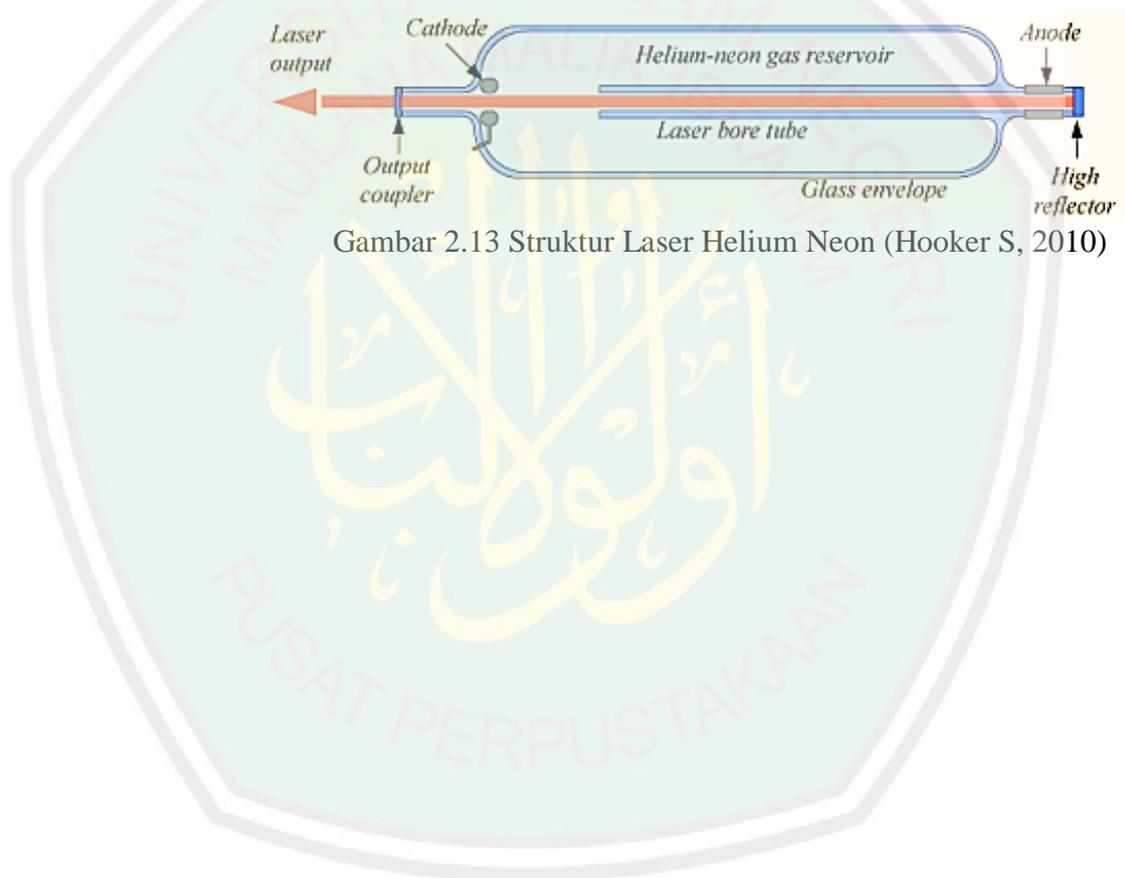
Terdapat dua jenis sumber optik yaitu :

- Laser Helium Neon (He-Ne)

Laser (*Light amplification by stimulated emission of radiation*) adalah suatu sumber yang dapat memancarkan cahaya dengan tingkat kemonokromatisan yang hampir sempurna. Sinar laser berbeda dengan sinar dari cahaya biasa. Ada beberapa ciri laser yang membedakan dengan cahaya biasa, yaitu hanya memancar pada satu arah saja (terpolarisasi linier), memiliki intensitas yang tinggi, kemonokromatisan yang hampir sempurna dan memiliki tingkat koherensi yang tinggi. Bahan yang digunakan dalam laser dapat berupa gas, benda padat dan cairan (kimia). Salah satu contoh laser yang menggunakan gas adalah laser Helium-Neon. Prinsip kerja laser adalah dengan cara memompa laser. Pemompaan laser adalah proses dimana atom-atom naik dari tingkat bawah ke tingkat atas. Pemompaan disini dimaksudkan untuk mencapai pembalikan populasi (populasi inversi). Proses pemompaan dapat dicapai melalui beberapa cara misalnya dengan rangsangan sumber cahaya yang kuat (pemompaan optis), rangsangan dengan kejutan elektron (pemompaan listrik), rangsangan dengan bahan kimia (pemompaan kimia) dan lainnya (Hooker S, 2010).

Laser Helium-Neon termasuk dalam laser gas. Rangsangan yang digunakan dalam pemompaan laser gas adalah kejutan elektron (rangsangan beda potensial). Laser Helium-Neon terdiri atas kira-kira 10 : 1 campuran dari Helium-Neon yang ditempatkan di dalam pipa keluaran yang panjang dan sempit pada tekanan sekitar 1 torr (~ 1 mm raksa). Dalam laser Helium Neon yang berfungsi sebagai medium aktif adalah Neon, karena pada medium ini terjadi transisi laser, sedangkan

Helium berfungsi sebagai kontributor ion ke medium aktif laser (Neon). Campuran gas ini adalah medium lasing yang membuat inversi populasi. Sistem gas tertutup diantara susunan cermin yang membentuk seperti resonator. Pemompaan diperoleh dari arus keluaran yang dihasilkan dari tegangan tinggi ($\sim 1-2$ kV). Tiga elemen penting dari laser HeliumNeon adalah pemompa, medium laser dan resonator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam skema gambar.



Gambar 2.13 Struktur Laser Helium Neon (Hooker S, 2010)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kualitatif dan kuantitatif. Penelitian kualitatif berdasarkan studi literatur yang berasal dari dokumen maupun penelitian yang berhubungan dengan dasar dan pembahasan penelitian. Penelitian kuantitatif berdasarkan eksperimen yang dilakukan terdapat perolehan data numerik yang kemudian diolah dan dianalisa.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

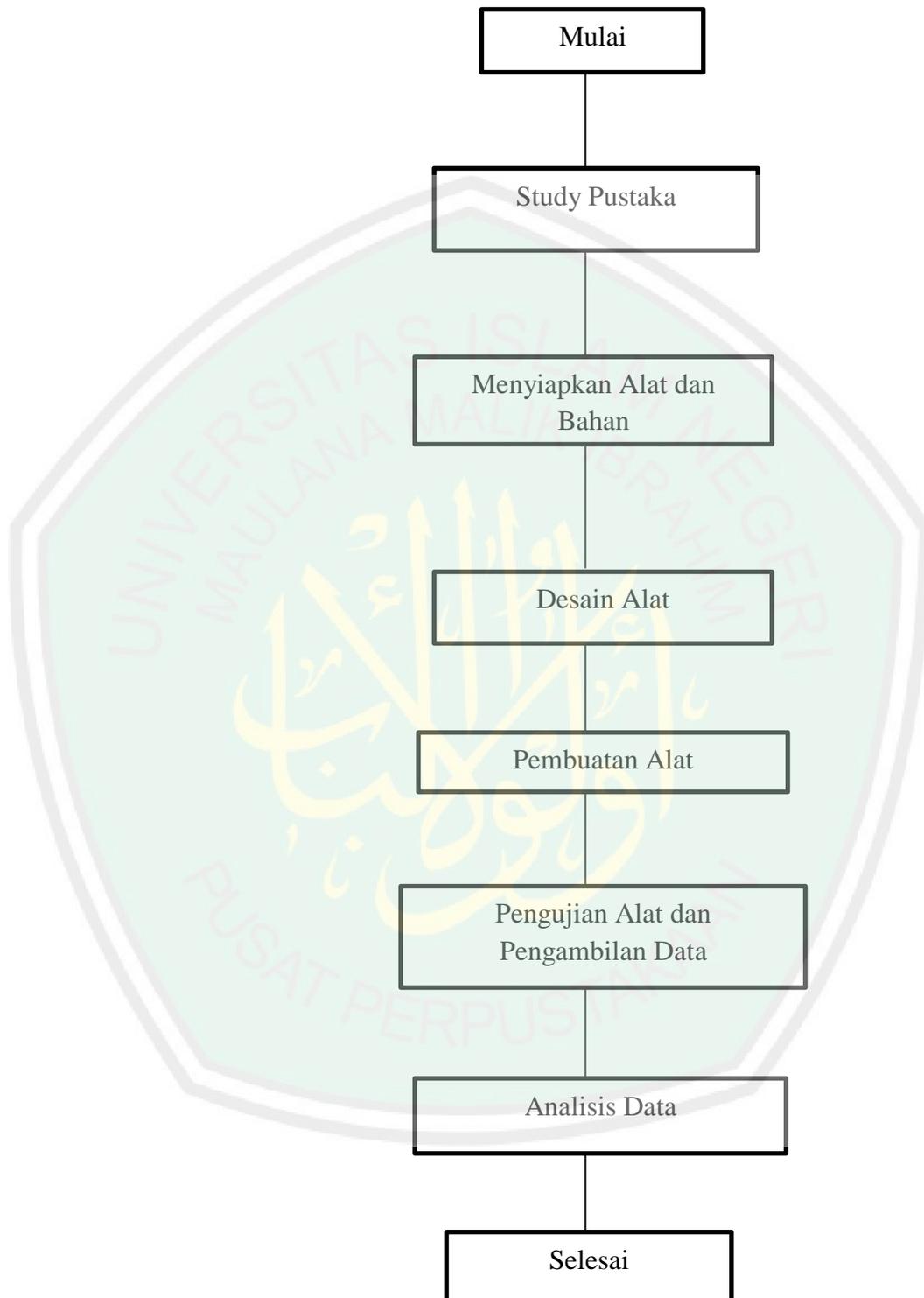
Penelitian tentang Racang Bangun Sensor Pemuaian Logam Berbasis Fiber Optik akan dilaksanakan di Laboraturium Instrumentasi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang pada Maret-April 2019.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

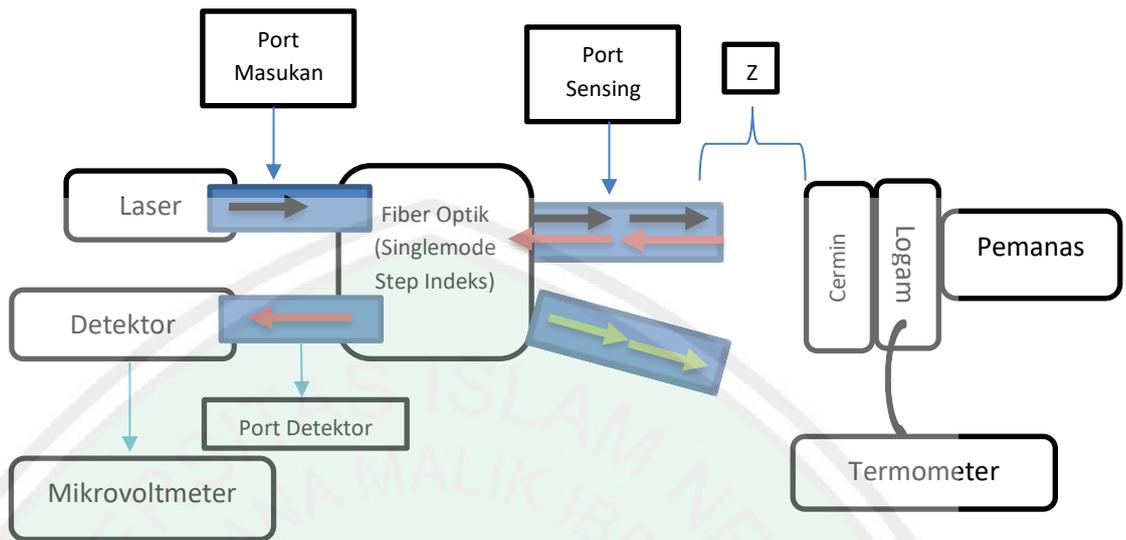
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Laser Helium Neon (He-Ne)
2. Fiber Optik Singlemode Steps Indeks
3. Pemanas (Solder)
4. Cermin Datar
5. Detektor (fotodetektor)
6. Konektor/*Port* (untuk menghubungkan fiber optik dengan detektor)
7. Logam (Besi, Alumunium, Tembaga)
8. Mikrometer Skrup
9. Termokopel
10. Multimeter

3.4 Alur Penelitian



3.5 Desain Umum



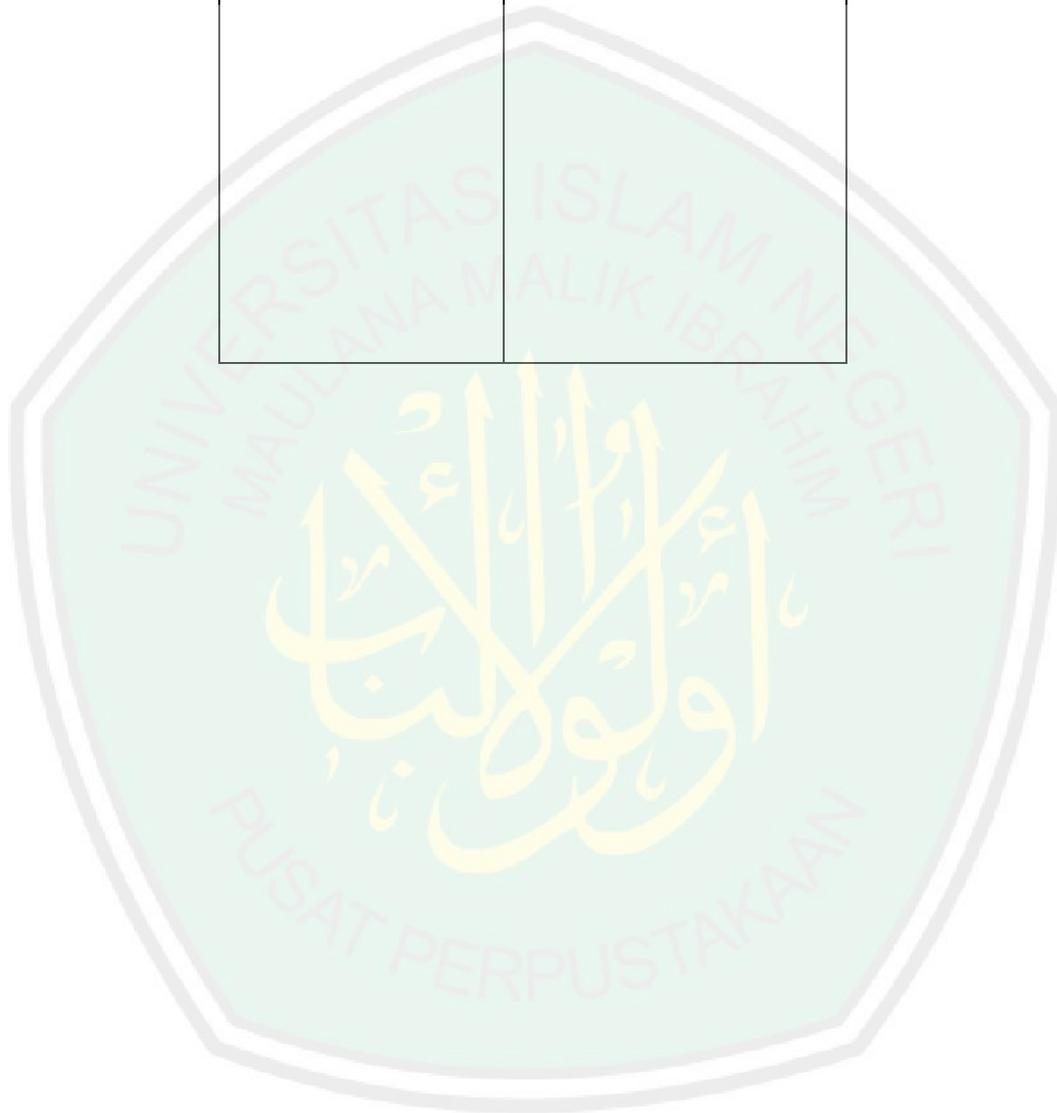
3.6 Pengambilan Data

3.6.1 Tabel Perbandingan V_{out} Dengan Pergeseran pada Mikrometer Sekrup

Pergeseran (μm)	Tegangan (μV)

3.6.2 Tabel Perbandingan V_{out} dengan Pertambahan Suhu

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan (μV)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

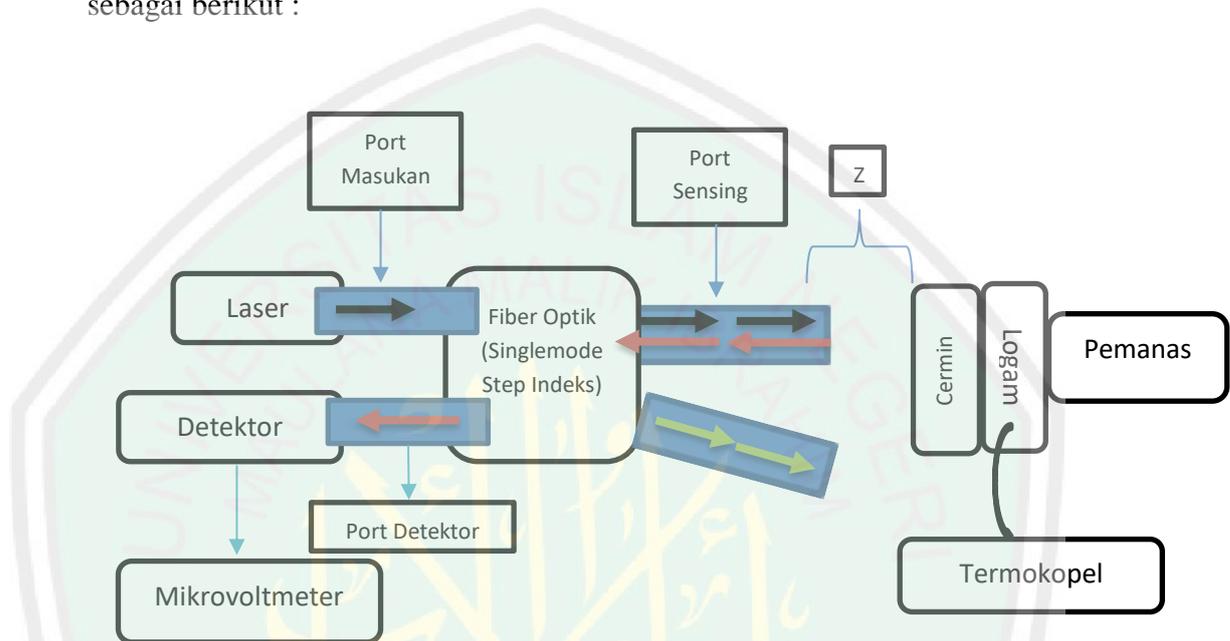
4.1.1 Pembuatan Rancang Bangun dan Prinsip Kerja Sensor Pemuai

Logam Berbasis Fiber Optik

Pembuatan rancang bangun sensor pemuai logam berbasis fiber optik dilakukan di Laboratorium Optik Universitas Maulana Malik Ibrahim Malang. Fiber optik yang dipakai adalah jenis *singlemode*. Pembuatan rancang bangun sensor pemuai logam berbasis fiber optik ini dibuat dengan beberapa tahapan, yakni membuat *singlemode fiber coupler* dari jenis fiber optik yang dipakai adalah jenis *Plastic Optik Fiber (POF)* dengan diameter 1 mm. Jenis fiber optik ini merupakan serat optik yang berbahan plastik polimer, dimana lapisan inti (*core*) dibuat dari Poly Methil Methacrylate (PMMA) sedangkan lapisan *cladding* dibuat dari *perfluoropolimer* dan memiliki keuntungan redaman yang rendah sehingga mampu mengirimkan cahaya (dari laser) lebih baik dari jenis fiber optik lainnya karena dapat mengurangi nilai kehilangan optik kurang dari 50 Db/km pada spektrum tampak. Tahapan awal adalah dengan melepas *cladding* (selimut) pada kabel. Pelepasan selimut kabel tidaklah mudah, pasalnya jika saat melepaskan selimut kabel tersebut tidak dianjurkan sampai terjadi kerusakan fisik yang signifikan. Hal ini bertujuan agar sinar laser yang melewati inti kabel tersebut tidak menyebar kecuali pemberian 'luka' pada sisi tertentu pada kabel yang memang diperlukan. Pemberian 'luka' pada kabel ini dilakukan pada kabel yang telah dipotong sebanyak dua kabel dengan panjang sama. Kemudian kabel disejajarkan dan dilapisi atau dililit dengan benang senar untuk

dapat menjadi pasangan sebuah kabel optik yang bertujuan untuk melewatkan cahaya dari satu kabel ke kabel lainnya.

Setelah tahapan pembuatan pasangan fiber optik selesai, kemudian dirancang sensor pemuaian logam berbasis fiber optik dengan gambar desain sebagai berikut :



Gambar 4.1 Desain Rancang Bangun Sensor Pemuaian Logam Berbasis Fiber Optik

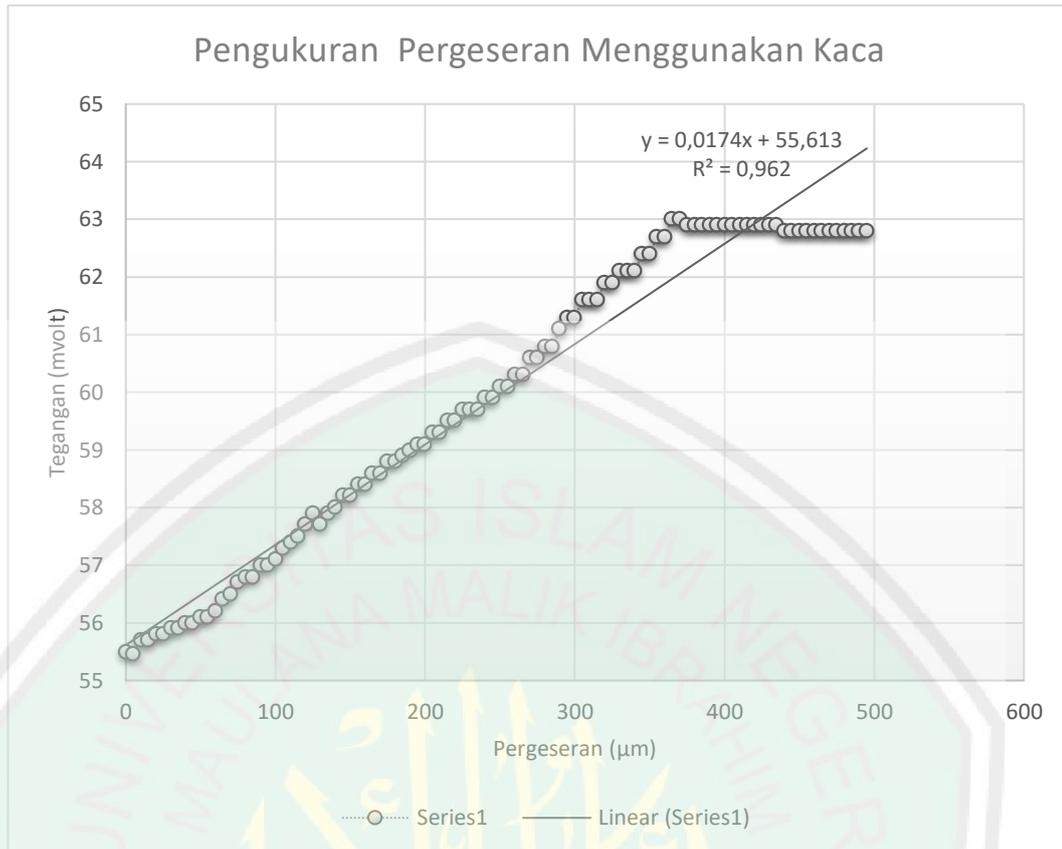
Prinsip kerja dari Gambar 4.1 adalah menerapkan prinsip transmisi oleh fiber optik yang dilewati cahaya dari sumber optik laser He-Ne. Pemanas berfungsi untuk memanasi logam (besi, tembaga dan alumunium) sehingga logam tersebut akan memuai. Kemudian cahaya akan dipantulkan oleh cermin dan detektor akan menangkap cahaya yang akan muncul nilai tegangan keluaran dimana detektor tersebut tersambung oleh mikrovoltmeter (multimeter). Pemuaian logam tersebut pada dasarnya juga akan sangat mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan. Nilai tegangan keluaran yang muncul akan

berbeda-beda. Pengambilan data dari alat ini adalah suhu (T) dan tegangan keluaran (V_{out}).

4.1.2 Hasil Pengukuran Pergeseran Menggunakan Kaca

Data hasil pengukuran pergeseran kaca digunakan sebagai kalibrasi daerah kerja dari fiber optik dalam orde mikro. Pergeseran kaca diawali dari pergeseran sebesar $5 \mu\text{m}$ menggunakan mikrometer skrup yang di-set dalam rancang bangun sensor pemuai logam berbasis fiber optik. Hasil yang diambil adalah tegangan keluaran yang diukur menggunakan mikrovoltmeter dengan variasi tiap pergeseran $5 \mu\text{m}$. Saat proses pengambilan data ini dilakukan di ruang gelap di Laboratorium Optik dengan tujuan agar mampu mengurangi pengaruh cahaya luar yang akan mengakibatkan kesalahan data dari fotodetektor yang dimana alat ini digunakan untuk mendeteksi cahaya pantul dari cermin dan menerjemahkannya dalam bentuk tegangan. Pengambilan data untuk kalibrasi daerah kerja sensor pemuai logam berbasis fiber optik dapat dilihat pada halaman lampiran.

Dari data dan perhitungan data tersebut telah didapatkan nilai kalibrasi untuk sensor pemuai logam. Dalam pergeseran sebesar $5 \mu\text{m}$ didapatkan hasil rata-rata perubahan tegangan keluarannya adalah $0,1 \text{ mV}$ dan dapat dilihat dari grafik sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Daerah Kerja Pergeseran Kaca Orde Mikro

Dari data Tabel 4.1 dapat dijelaskan bahwa setiap pergeseran yang dilakukan pada kaca, besar nilai tegangan keluaran yang didapatkan semakin naik. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 4.1 bahwa daerah kerja pergeseran kaca dengan orde mikro sudah mendekati linier. Daerah linier tersebut dijadikan acuan artinya data ini mampu dijadikan nilai kalibrasi untuk data yang diperoleh dari proses pengambilan data menggunakan sensor pemuai logam berbasis fiber optik.

4.1.3 Hasil Pengukuran Sensor Pemuai

Proses pengambilan data dilakukan dalam ruang gelap guna menghindari pengaruh cahaya luar yang mampu mempengaruhi hasil pembacaan fotodetektor meskipun dalam masa percobaan terdapat pengaruh cahaya layar termokopel dan

seberkas cahaya sinar laser He-Ne yang terjadi saat melewati *fiber coupler*. Pengambilan data pergeseran mikro dari pemuaian logam secara berurutan dari logam besi, tembaga dan aluminium. Kebanyakan benda memuai bila dipanaskan dan menyusut bila didinginkan. Tapi, besarnya pemuaian dan penyusutan bervariasi, tergantung pada materialnya (Giancoli, 1997). Pada umumnya jika temperaturnya naik maka jarak rata-rata antar atom-atom naik, sehingga keseluruhan mengalami pemuaian. Perubahan ukuran pada dimensi linier seperti panjang, lebar, tebal disebut sebagai muai linier (Lesmono, 2014). Jika panjangnya dimensi linier adalah l , maka perubahan panjangnya, yang berasal dari suatu perubahan temperatur ΔT , adalah Δl . Jika ΔT cukup kecil, maka perubahan panjang Δl adalah sebanding dengan perubahan temperatur ΔT dan sebanding dengan panjang semula l . Maka dapat dituliskan

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \Delta T \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Δl adalah pertambahan panjang (m)

l_0 adalah panjang awal (m)

α adalah koefisien muai panjang ($^{\circ}\text{C}$)

Dengan α yang dinamakan koefisien ekspansi linear (*coefficient of linear expansion*), mempunyai nilai-nilai yang berbeda untuk bahan-bahan yang berbeda. Dengan menuliskan kembali rumus ini maka didapatkan :

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta T} \dots\dots\dots(2)$$

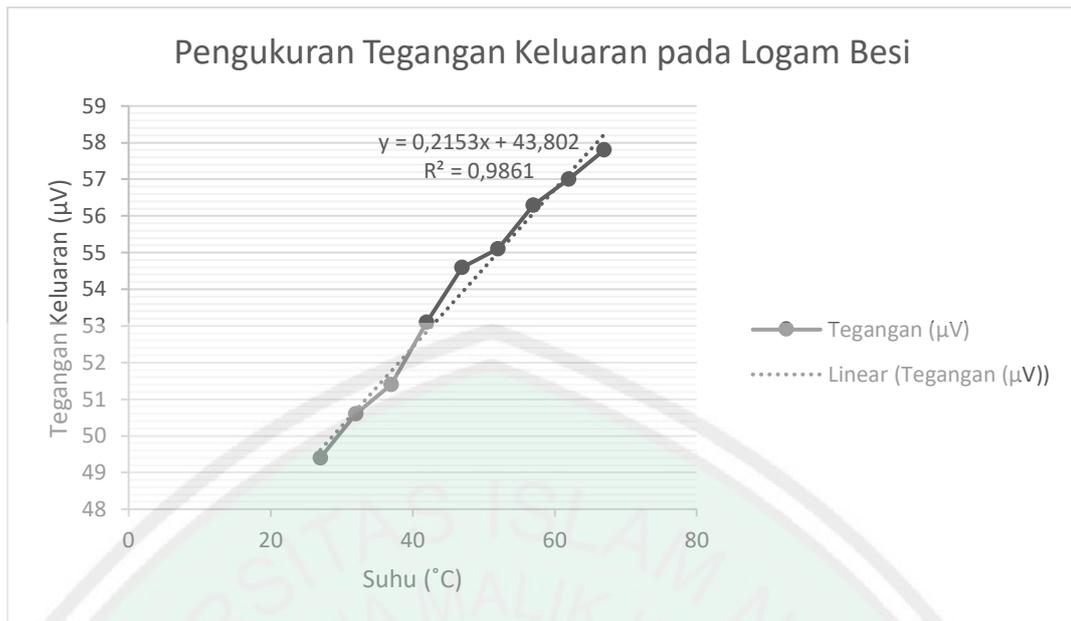
Sehingga α mempunyai arti sebagai bagian perubahan panjang per derajat perubahan temperatur. Tegasnya boleh dikatakan, bahwa nilai α bergantung pada temperatur yang sesungguhnya dan bergantung pada temperatur referensi

yang dipilih untuk menentukan (Halliday, 2014). Faktor yang menentukan besarnya pemuaian panjang suatu jenis zat dinamakan koefisien muai panjang (α). Koefisien muai panjang menggambarkan bagaimana ukuran dari suatu perubahan obyek terhadap suhu. Satuan α adalah kebalikan dari derajat Celcius ($1/^{\circ}\text{C}$) atau kebalikan Kelvin ($1/\text{K}$). (Tripler, 2001)

Suhu awal ruangan dan suhu awal logam didapatkan sebesar 27°C . Semua logam dipanasi mulai suhu terendah (suhu awal) sampai dengan suhu $\pm 68^{\circ}\text{C}$ karena pemanas yang dipakai menggunakan solder yang hanya mampu mencapai derajat panas yang tidak terlalu tinggi terhadap logam-logam tersebut. Panjang awal yang dimiliki besi adalah 8 cm sedangkan panjang awal untuk tembaga dan aluminium masing-masing 10 cm. Data yang diperoleh selama pengukuran dan perhitungan dapat ditunjukkan melalui tabel dan grafik sebagai berikut :

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan (μV)	α ($1/^{\circ}\text{C}$)
27	49,4	-
32	50,6	$1,5 \times 10^{-7}$
37	51,4	$1,0 \times 10^{-7}$
42	53,1	$0,875 \times 10^{-7}$
47	54,6	$1,875 \times 10^{-7}$
52	55,1	$0,625 \times 10^{-7}$
57	56,3	$1,5 \times 10^{-7}$
62	57	$0,875 \times 10^{-7}$
67	57,8	$1,0 \times 10^{-7}$
Rata-rata		$1,156 \times 10^{-7}$

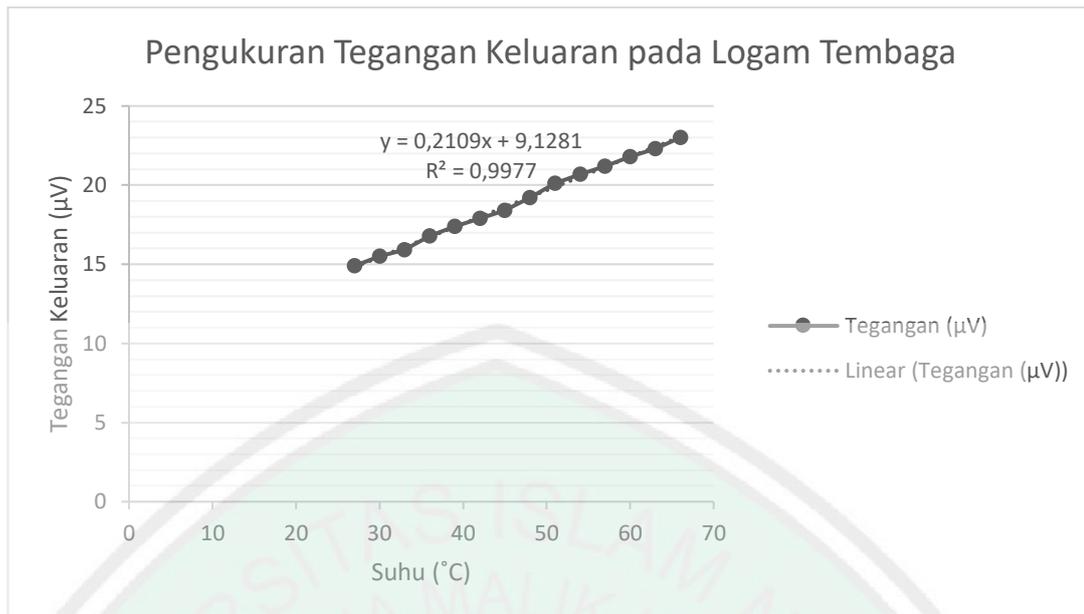
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Besi



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Besi

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan (μV)	α ($^{\circ}\text{C}$)
27	14,9	-
30	15,5	$1,0 \times 10^{-7}$
33	15,9	$0,6 \times 10^{-7}$
36	16,8	$1,5 \times 10^{-7}$
39	17,4	$1,0 \times 10^{-7}$
42	17,9	$0,8 \times 10^{-7}$
45	18,4	$0,8 \times 10^{-7}$
48	19,2	$1,3 \times 10^{-7}$
51	20,1	$1,5 \times 10^{-7}$
54	20,7	$0,6 \times 10^{-7}$
57	21,2	$0,8 \times 10^{-7}$
60	21,8	$1,0 \times 10^{-7}$
63	22,3	$0,8 \times 10^{-7}$
66	23	$1,16 \times 10^{-7}$
Rata-rata		$0,98 \times 10^{-7}$

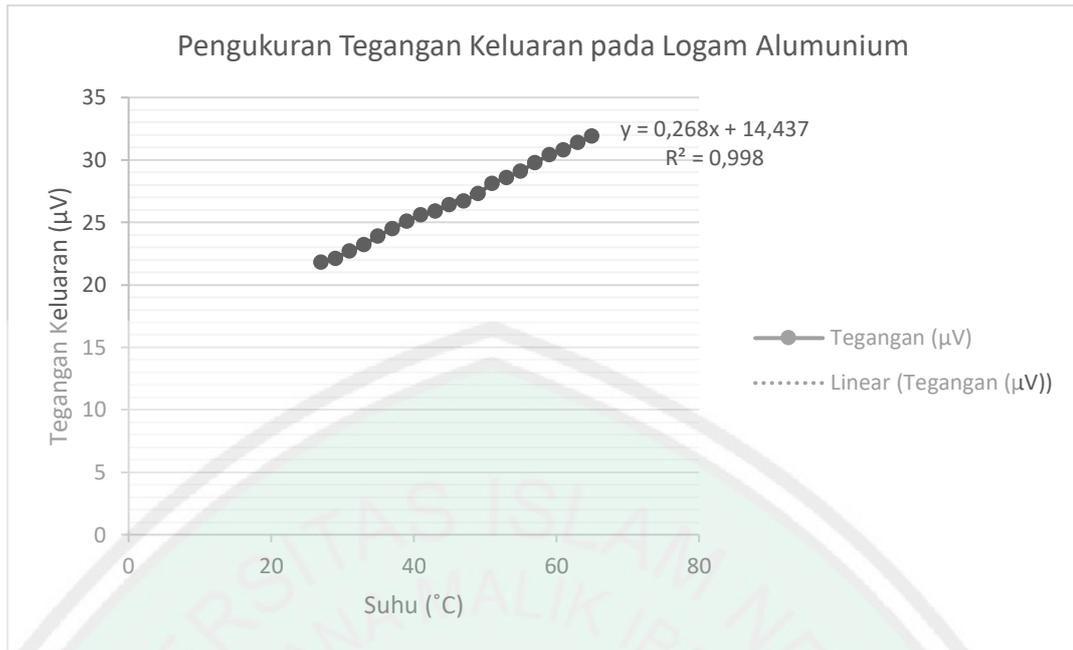
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Tembaga



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Tembaga

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan (μV)	α ($^{\circ}\text{C}$)
27	21,8	-
29	22,1	$1,75 \times 10^{-7}$
31	22,7	$1,5 \times 10^{-7}$
33	23,2	$1,25 \times 10^{-7}$
35	23,9	$1,75 \times 10^{-7}$
37	24,5	$1,5 \times 10^{-7}$
39	25,1	$1,5 \times 10^{-7}$
41	25,6	$1,25 \times 10^{-7}$
43	25,9	$0,75 \times 10^{-7}$
45	26,4	$1,25 \times 10^{-7}$
47	26,7	$0,75 \times 10^{-7}$
49	27,3	$1,5 \times 10^{-7}$
51	28,1	$2,0 \times 10^{-7}$
53	28,6	$1,25 \times 10^{-7}$
55	29,1	$1,25 \times 10^{-7}$
57	29,8	$1,75 \times 10^{-7}$
59	30,4	$1,5 \times 10^{-7}$
61	30,8	$1,0 \times 10^{-7}$
63	31,4	$1,5 \times 10^{-7}$
65	31,9	$1,25 \times 10^{-7}$
Rata-rata		$1,38 \times 10^{-7}$

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Aluminium



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengukuran Tegangan Keluaran pada Pemuaian Logam Alumunium

4.2 Pembahasan

Hasil karakteristik perubahan tegangan keluaran detektor terhadap pergeseran cermin akibat pemuaian logam diperlihatkan oleh masing-masing Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3 dan Gambar 4.2, Gambar 4.3 serta Gambar 4.4 dari beberapa pemuaian logam besi, tembaga dan aluminium secara berurutan. Dalam pemahaman kami disini jika merujuk pada keterangan di dalam Al- Qur'an bahwa segala apa yang diciptakan langsung dari Allah ataupun lewat perantara manusia sesungguhnya segalanya tersebut dibuat dengan perhitungan tertentu. Terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam mempelajari ciri atau karakteristik suatu bahan untuk diketahui manfaatnya. Pandangan Al-Qur'an dalam ilmu teknologi dapat diketahui prinsip-prinsipnya dari analisis wahyu pertama yang diterima oleh Nabi Muhammad SAW, dalam firman-Nya yang berbunyi :

أَقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۚ خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ۚ أَلَمْ يَكُنْ أَقْرَأً ۚ وَرَبُّكَ
 الْأَكْرَمُ ۚ الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۚ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝

“ Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam. Dia mengajar kepada manusia apa yang tidak diketahuinya (QS. Al-Alaq 1-5)”

Iqra' terambil dari akar kata yang berarti menghimpun. Dari menghimpun lahir aneka makna seperti menyampaikan, menelaah, mendalami, meneliti, mengetahui ciri-ciri sesuatu, dan membaca baik teks tertulis maupun tidak. Wahyu pertama itu tidak menjelaskan apa yang harus dibaca, karena Al-Qur'an menghendaki umatnya membaca apa saja selama bacaan tersebut bismi Rabbik, dalam arti bermanfaat untuk kemanusiaan. Iqra' berarti bacalah, telitilah, dalamilah, ketahuilah ciri-ciri sesuatu ; bacalah alam, tanda-tanda zaman, sejarah maupun diri sendiri, yang tertulis maupun tidak. Alhasil, objek perintah iqra' mencakup segala sesuatu yang dapat dijangkaunya (Shihab, 1999) maka dapat diartikan segala sesuatu hal yang telah diciptakan oleh Allah dalam hal ini mengenai rancang bangun sensor pemuaiian logam berbasis fiber optik adalah bentuk implementasi dari firman tersebut. Dengan segenap daya dan upaya yang diberikan kepada kita, maka perlunya memahami dalam meneliti kasus ini dalam orde mikro yang lebih kecil lagi. Dari data dan pembahasan dari grafik dan kalibrasi akan dijelaskan dalam beberapa sub bab selanjutnya.

4.2.1 Karakteristik Sensor Pemuaiian Logam Besi

Hasil karakteristik *singlemode fiber coupler* sebagai sensor pemuaiian logam besi berupan tegangan keluaran terhadap suhu logam besi diperlihatkan pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.3.

Gambar 4.3 memperlihatkan hubungan linier tegangan keluaran oleh detektor terhadap suhu logam besi. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor pemuai berbasis fiber optik menggunakan singlemode fiber coupler bekerja dengan baik. Nilai kemiringan grafik linier pada Gambar 4.3 menunjukkan sensitivitas sensor sebesar $0,2153 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. dari nilai sensitivitas tersebut, secara teori jika detektor dan mikrovoltmeter yang digunakan mampu membaca perubahan sebesar $1 \mu\text{V}$, maka sensor mempunyai kemampuan mendeteksi perubahan suhu sebesar $0,001 ^\circ\text{C}$. Karakteristik *singlemode fiber coupler* dapat dinyatakan dalam rentang temperatur $27 ^\circ\text{C} - 68 ^\circ\text{C}$ dengan sensitivitas sensor sebesar $0,2153 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Dengan perhitungan dengan kalibrasi pergeseran kaca, nilai koefisien muai panjang (α) yang telah dihasilkan nilai α sebesar $1,156 \times 10^{-7} /^\circ\text{C}$. Jika dibandingkan dengan teori yang ada nilainya lebih kecil, dimana nilai α untuk besi adalah $1,2 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$. Dari hasil ini pula dapat dihitung nilai efisiensi sensor terhadap nilai koefisien muai panjang sebesar 1,09 %. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam pengukuran. Penyebab terjadinya *error* pada sensor dimungkinkan mengenai pemanasan pada logam di satu titik batang dengan menggunakan solder sebagai pemanas sehingga panas yang menyebabkan pemuai pada logam tidak secara merata menyebar ke seluruh batang.

4.2.2 Karakteristik Sensor Pemuai Logam Tembaga

Hasil karakteristik *singlemode fiber coupler* sebagai sensor pemuai logam besi berupa tegangan keluaran terhadap suhu logam besi diperlihatkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.4.

Gambar 4.4 memperlihatkan hubungan linier tegangan keluaran oleh detektor terhadap suhu logam besi. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor pemuai berbasis fiber optik menggunakan singlemode fiber coupler bekerja dengan baik. Nilai kemiringan grafik linier pada Gambar 4.4 menunjukkan sensitivitas sensor sebesar $0,211 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. dari nilai sensitivitas tersebut, secara teori jika detektor dan mikrovoltmeter yang digunakan mampu membaca perubahan sebesar $1 \mu\text{V}$, maka sensor mempunyai kemampuan mendeteksi perubahan suhu $0,001 ^{\circ}\text{C}$. Karakteristik *singlemode fiber coupler* dapat dinyatakan dalam rentang temperatur $27 ^{\circ}\text{C} - 66 ^{\circ}\text{C}$ dengan sensitivitas sensor sebesar $0,211 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Dengan perhitungan dengan kalibrasi pergeseran kaca,, nilai koefisien muai panjang (α) yang telah dihasilkan nilai α sebesar $0,98 \times 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$. Jika dibandingkan dengan teori yang ada nilainya lebih kecil, dimana nilai α untuk besi adalah $1,7 \times 10^{-5} /^{\circ}\text{C}$. Dari hasil ini pula dapat dihitung nilai efisiensi sensor terhadap nilai koefisien muai panjang sebesar $0,58 \%$. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam pengukuran. Penyebab terjadinya *error* pada sensor dimungkinkan mengenai pemanasan pada logam di satu titik batang dengan menggunakan solder sebagai pemanas sehingga panas yang menyebabkan pemuai pada logam tidak secara merata menyebar ke seluruh batang.

4.2.3 Karakteristik Sensor Pemuai Logam Aluminium

Hasil karakteristik *singlemode fiber coupler* sebagai sensor pemuai logam besi berupa tegangan keluaran terhadap suhu logam besi diperlihatkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.5.

Gambar 4.5 memperlihatkan hubungan linier tegangan keluaran oleh detektor terhadap suhu logam besi. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor pemuai berbasis fiber optik menggunakan singlemode fiber coupler bekerja dengan baik. Nilai kemiringan grafik linier pada Gambar 4.5 menunjukkan sensitivitas sensor sebesar $0,268 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. dari nilai sensitivitas tersebut, secara teori jika detektor dan mikrovoltmeter yang digunakan mampu membaca perubahan sebesar $1 \mu\text{V}$, maka sensor mempunyai kemampuan mendeteksi perubahan suhu $0,001 ^\circ\text{C}$. Karakteristik *singlemode fiber coupler* dapat dinyatakan dalam rentang temperatur $27 ^\circ\text{C} - 65 ^\circ\text{C}$ dengan sensitivitas sensor sebesar $0,268 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Dengan perhitungan dengan kalibrasi pergeseran kaca, nilai koefisien muai panjang (α) yang telah dihasilkan nilai α sebesar $1,38 \times 10^{-7} /^\circ\text{C}$. Jika dibandingkan dengan teori yang ada nilainya lebih kecil, dimana nilai α untuk besi adalah $2,4 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$. Dari hasil ini pula dapat dihitung nilai efisiensi sensor terhadap nilai koefisien muai panjang sebesar $0,57 \%$. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam pengukuran. Penyebab terjadinya *error* pada sensor dimungkinkan mengenai pemanasan pada logam di satu titik batang dengan menggunakan solder sebagai pemanas sehingga panas yang menyebabkan pemuai pada logam tidak secara merata menyebar ke seluruh batang.

4.2.4 Perbandingan Karakteristik Sensor Temperatur dan Sensor Pemuai Logam

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Gatut Yudoyono tentang sensor temperatur maka terdapat beberapa penyebab terjadinya

kesalahan atau *error* pada sensor pemuaian kali ini. *Set up* sensor temperatur yang telah dibuat oleh Gatut Yodoyono dapat dilihat pada Gambar 2.8 perlakuan yang sistematis dalam pemberian panas untuk menaikkan suhu pada logam lebih mampu maksimal, sehingga hasil yang terjadi pada proses pemuaian logam mampu menghasilkan karakteristik dalam bentuk tegangan keluaran dan suhu dalam hasil linearitas yang baik. Sedangkan pada *set up* sensor pemuaian logam pada Gambar 4.1 perlakuannya berbeda dengan seperti sensor temperatur oleh Gatut Yudoyono. Perlakuan yang kurang maksimal dalam pemberian panas atau untuk menaikkan suhu pada logam hanya dalam satu titik saja tanpa seluruh sisi logam mampu dipanasi, sehingga hasil pemuaian yang terjadi mengakibatkan hasil dalam tegangan keluaran oleh detektor kurang maksimal. Diperkuat dari nilai efisiensi dari hasil pengukuran pemuaian pada besi, tembaga dan aluminium dan hasil nilai koefisien muai panjang dari ketiga logam tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian mengenai rancang bangun sensor pemuaian berbasis fiber optik dengan menggunakan *singlemode fiber coupler* terhadap pemuaian logam besi, tembaga dan aluminium dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Prinsip kerja dari Gambar 4.1 adalah menerapkan prinsip transmisi oleh fiber optik yang dilewati cahaya dari sumber optik laser He-Ne. Pemanas berfungsi untuk memanasi logam (besi, tembaga dan aluminium) sehingga logam tersebut akan memuai. Kemudian cahaya akan dipantulkan oleh cermin dan detektor akan menangkap cahaya yang akan muncul nilai tegangan keluaran dimana detektor tersebut tersambung oleh mikrovoltmeter (multimeter). Pemuaian logam tersebut pada dasarnya juga akan sangat mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan. Nilai tegangan keluaran yang muncul akan berbeda-beda. Pengambilan data dari alat ini adalah suhu (T) dan tegangan keluaran (V_{out}).
2. Karakteristik dari sensor pemuaian logam masing-masing logam dapat dijelaskan sebagai berikut :
 - a. Gambar 4.3 memperlihatkan grafik hubungan linier tegangan keluaran oleh detektor terhadap suhu logam besi. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor pemuaian berbasis fiber optik menggunakan *singlemode fiber coupler* bekerja dengan baik. Nilai kemiringan grafik linier pada Gambar 4.3 grafik menunjukkan sensitivitas sensor sebesar $0,2153 \mu V/^{\circ}C$. dari nilai sensitivitas tersebut, secara teori jika detektor dan

mikrovoltmeter yang digunakan mampu membaca perubahan sebesar 1 μV , maka sensor mempunyai kemampuan mendeteksi suhu sebesar 0,001 $^{\circ}\text{C}$. Karakteristik *singlemode fiber coupler* dapat dinyatakan dalam rentang temperatur 27 $^{\circ}\text{C}$ – 68 $^{\circ}\text{C}$ dengan sensitivitas sensor sebesar 0,2153 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

- b. Gambar 4.4 memperlihatkan grafik hubungan linier tegangan keluaran oleh detektor terhadap suhu logam tembaga. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor pemuaiian berbasis fiber optik menggunakan *singlemode fiber coupler* bekerja dengan baik. Nilai kemiringan grafik linier pada Gambar 4.4 menunjukkan sensitivitas sensor sebesar 0,211 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. dari nilai sensitivitas tersebut, secara teori jika detektor dan mikrovoltmeter yang digunakan mampu membaca perubahan sebesar 1 μV , maka sensor mempunyai kemampuan mendeteksi perubahan suhu sebesar 0,001 $^{\circ}\text{C}$. Karakteristik *singlemode fiber coupler* dapat dinyatakan dalam rentang temperatur 27 $^{\circ}\text{C}$ – 66 $^{\circ}\text{C}$ dengan sensitivitas sensor sebesar 0,211 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.
- c. Gambar 4.5 memperlihatkan hubungan linier tegangan keluaran oleh detektor terhadap suhu logam aluminium. Hal tersebut menunjukkan bahwa sensor pemuaiian berbasis fiber optik menggunakan *singlemode fiber coupler* bekerja dengan baik. Nilai kemiringan grafik linier pada Gambar 4.5 menunjukkan sensitivitas sensor sebesar 0,268 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. dari nilai sensitivitas tersebut, secara teori jika detektor dan mikrovoltmeter yang digunakan mampu membaca perubahan sebesar 1 μV , maka sensor mempunyai kemampuan mendeteksi perubahan suhu 0,001 $^{\circ}\text{C}$.

Karakteristik *singlemode fiber coupler* dapat dinyatakan dalam rentang temperatur $27\text{ }^{\circ}\text{C} - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan sensitivitas sensor sebesar $0,268\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

3. Pengukuran pemuaian logam adalah sebagai berikut :
 - a. Dengan perhitungan dengan kalibrasi pergeseran kaca, nilai koefisien muai panjang (α) untuk besi yang telah dihasilkan nilai α sebesar $1,156 \times 10^{-7}\text{ }/^{\circ}\text{C}$. Jika dibandingkan dengan teori yang ada nilainya lebih kecil, dimana nilai α untuk besi adalah $1,2 \times 10^{-5}\text{ }/^{\circ}\text{C}$. Dari hasil ini pula dapat dihitung nilai efisiensi sensor terhadap nilai koefisien muai panjang sebesar $1,09\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam pengukuran. Penyebab terjadinya *error* pada sensor dimungkinkan mengenai pemanasan pada logam di satu titik batang dengan menggunakan solder sebagai pemanas sehingga panas yang menyebabkan pemuaian pada logam tidak secara merata menyebar ke seluruh batang.
 - b. Dengan perhitungan dengan kalibrasi pergeseran kaca, nilai koefisien muai panjang (α) untuk tembaga yang telah dihasilkan nilai α sebesar $0,98 \times 10^{-7}\text{ }/^{\circ}\text{C}$. Jika dibandingkan dengan teori yang ada nilainya lebih kecil, dimana nilai α untuk besi adalah $1,7 \times 10^{-5}\text{ }/^{\circ}\text{C}$. Dari hasil ini pula dapat dihitung nilai efisiensi sensor terhadap nilai koefisien muai panjang sebesar $0,58\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam pengukuran. Penyebab terjadinya *error* pada sensor dimungkinkan mengenai pemanasan pada logam di satu titik batang dengan menggunakan solder sebagai pemanas sehingga

panas yang menyebabkan pemuaian pada logam tidak secara merata menyebar ke seluruh batang.

- c. Dengan perhitungan dengan kalibrasi pergeseran kaca, nilai koefisien muai panjang (α) untuk aluminium yang telah dihasilkan nilai α sebesar $1,38 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$. Jika dibandingkan dengan teori yang ada nilainya lebih kecil, dimana nilai α untuk besi adalah $2,4 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$. Dari hasil ini pula dapat dihitung nilai efisiensi sensor terhadap nilai koefisien muai panjang sebesar 0,57 %. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor mengalami kesalahan dalam pengukuran. Penyebab terjadinya *error* pada sensor dimungkinkan mengenai pemanasan pada logam di satu titik batang dengan menggunakan solder sebagai pemanas sehingga panas yang menyebabkan pemuaian pada logam tidak secara merata menyebar ke seluruh batang.

5.2 Saran

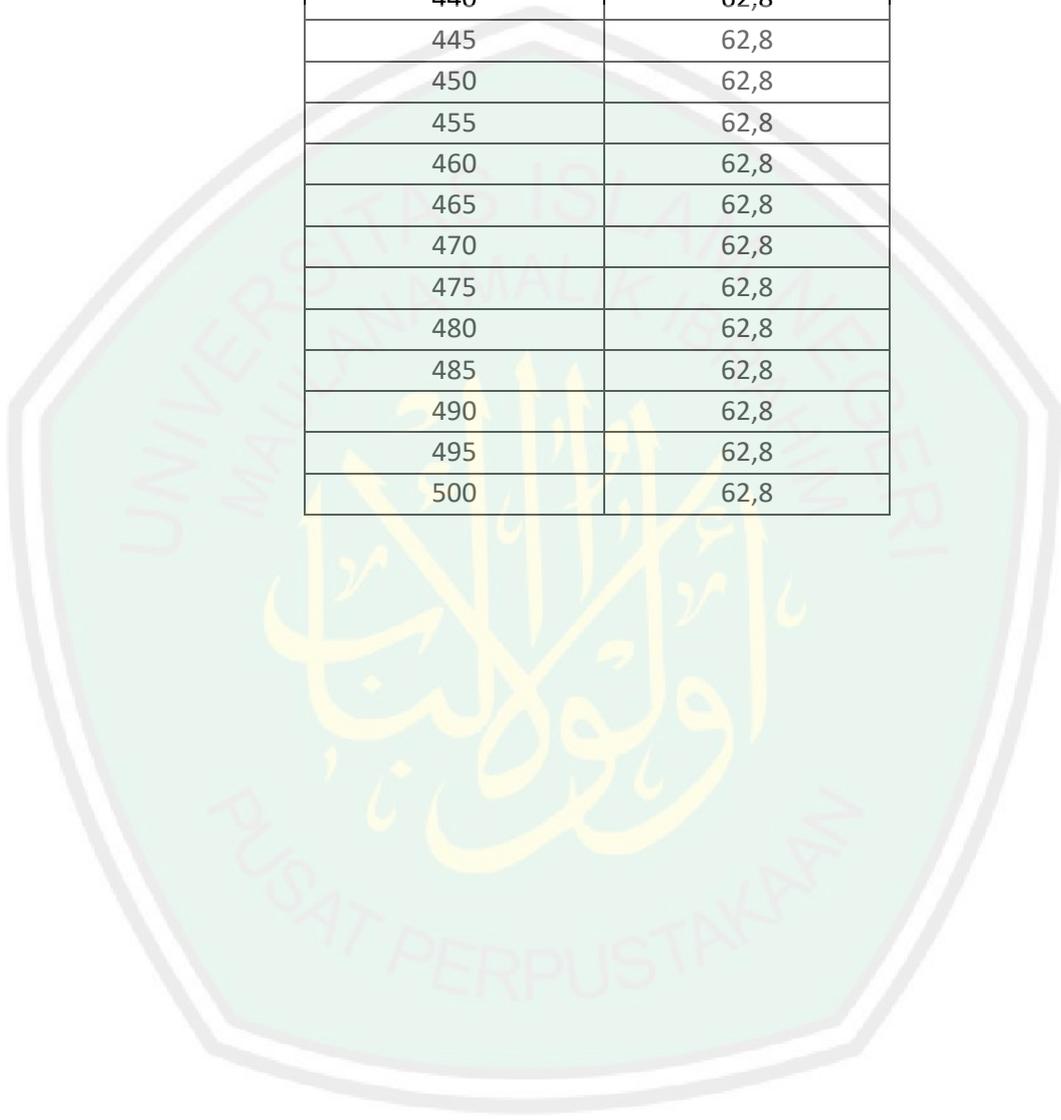
Saran yang mungkin dapat menjadi pengembangan pada penelitian selanjutnya adalah untuk membuat rancang bangun yang lebih baik dari penelitian ini dimana perlunya pembuatan *fiber coupler* yang lebih baik dalam kualitasnya dan ketelitian dalam pengukuran sebelum pembacaan data diambil dan serta *set up* alat yang lebih baik.

Lampiran 1 Data Pengukuran Pergeseran Menggunakan Kaca

Pergeseran (μm)	Tegangan (mV)
0	55,5
5	55,46
10	55,7
15	55,7
20	55,8
25	55,8
30	55,9
35	55,9
40	56
45	56
50	56,1
55	56,1
60	56,2
65	56,4
70	56,5
75	56,7
80	56,8
85	56,8
90	57
95	57
100	57,1
105	57,3
110	57,4
115	57,5
120	57,7
125	57,9
130	57,7
135	57,9
140	58
145	58,2
150	58,2
155	58,4
160	58,4
165	58,6
170	58,6
175	58,8
180	58,8
185	58,9

190	59
195	59,1
200	59,1
205	59,3
210	59,3
215	59,5
220	59,5
225	59,7
230	59,7
235	59,7
240	59,9
245	59,9
250	60,1
255	60,1
260	60,3
265	60,3
270	60,6
275	60,6
280	60,8
285	60,8
290	61,1
295	61,3
300	61,3
305	61,6
310	61,6
315	61,6
320	61,9
325	61,9
330	62,1
335	62,1
340	62,1
345	62,4
350	62,4
355	62,7
360	62,7
365	63
370	63
375	62,9
380	62,9
385	62,9
390	62,9
395	62,9
400	62,9

405	62,9
410	62,9
415	62,9
420	62,9
425	62,9
430	62,9
435	62,9
440	62,8
445	62,8
450	62,8
455	62,8
460	62,8
465	62,8
470	62,8
475	62,8
480	62,8
485	62,8
490	62,8
495	62,8
500	62,8



Lampiran 2 Perhitungan Nilai Koefisien Pemuaian Panjang Logam Menggunakan

Pembacaan Sensor Pemuaian Logam Berbasis Fiber Optik

A. Besi

$$1. \Delta L = \frac{5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,6 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_1 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,6 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 1,5 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$2. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,4 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_2 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,4 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 1,0 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$3. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,35 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_3 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,35 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 0,875 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$4. \Delta L = \frac{5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,75 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_4 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,75 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 1,875 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$5. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_5 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 0,625 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$6. \Delta L = \frac{5 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,6 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_6 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,6 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 1,5 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$7. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,35 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_7 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,35 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 0,875 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$8. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,4 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_8 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,4 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-2} \cdot 5} = 1,0 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Sehingga nilai } \alpha_{rata-rata} = \frac{\sum \alpha}{8} = \frac{9,25 \cdot 10^{-7}}{8} = 1,156 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

B. Tembaga

$$1. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_1 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 1 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$2. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,2 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_2 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,2 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 0,6 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$3. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,45 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_3 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 1,5 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$4. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_4 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 1 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$5. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_5 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 0,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$6. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_6 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 0,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$7. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,4 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_7 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,4 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 1,3 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$8. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,9 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,45 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_8 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 1,5 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$9. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,2 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_9 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,2 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 0,6 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$10. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{10} = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 0,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$11. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{11} = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 1 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$12. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{12} = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 0,8 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$13. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,35 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_1 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,35 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 3} = 1,16 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

Sehingga nilai $\alpha_{rata-rata} = \frac{\sum \alpha}{13} = \frac{12,86 \cdot 10^{-7}}{13} = 0,98 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$



C. Alumunium

$$1. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,35 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_1 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,35 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,75 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$2. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_2 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,5 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$3. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_3 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,25 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$4. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,35 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_4 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,35 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,75 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$5. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_5 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,5 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$6. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_6 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,5 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$7. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_7 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,25 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$8. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,15 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_8 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,15 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 0,75 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$9. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_9 = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,25 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$10. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,15 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_{10} = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,15 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 0,75 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$11. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$
$$\alpha_{11} = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,5 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$12. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} x 10^{-6}}{0,1} = 0,4 \cdot 10^{-7} /^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{12} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,4 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 2 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$13. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{13} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$14. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{14} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$15. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,35 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{15} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,35 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,75 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$16. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{16} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,5 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$17. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,4 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{17} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,4 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$18. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,3 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{18} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,3 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,5 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$19. \Delta L = \frac{5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \times 10^{-6}}{0,1} = 0,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

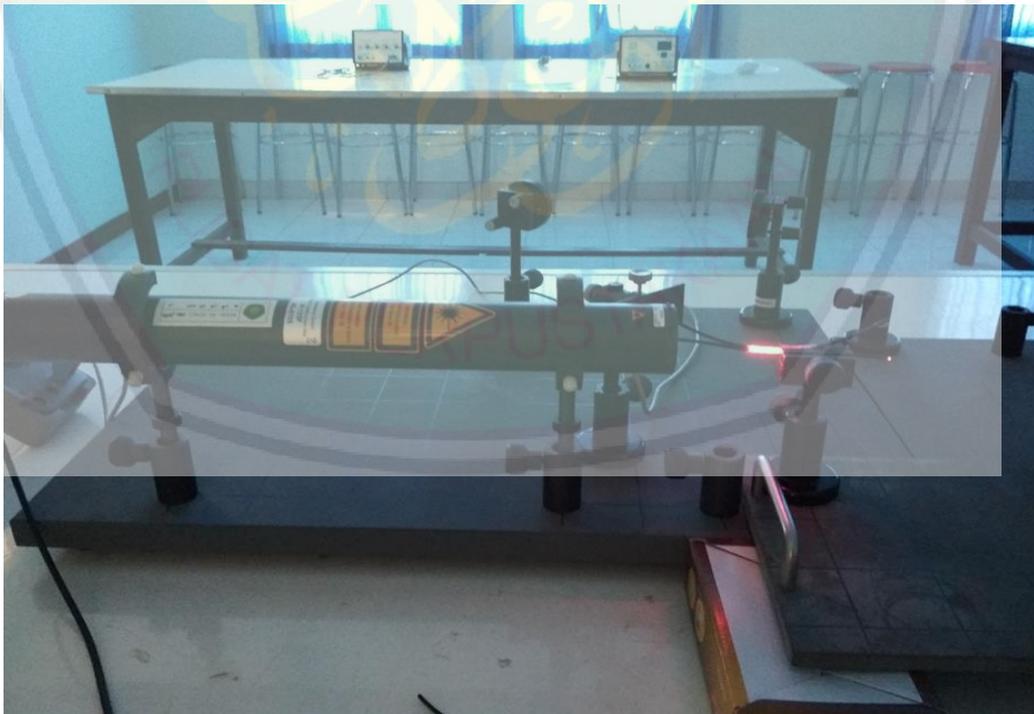
$$\alpha_{19} = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} = \frac{0,25 \cdot 10^{-7}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 2} = 1,25 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

$$\text{Sehingga nilai } \alpha_{\text{rata-rata}} = \frac{\Sigma \alpha}{19} = \frac{26,25 \cdot 10^{-7}}{19} = 1,38 \cdot 10^{-7} / ^\circ\text{C}$$

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian



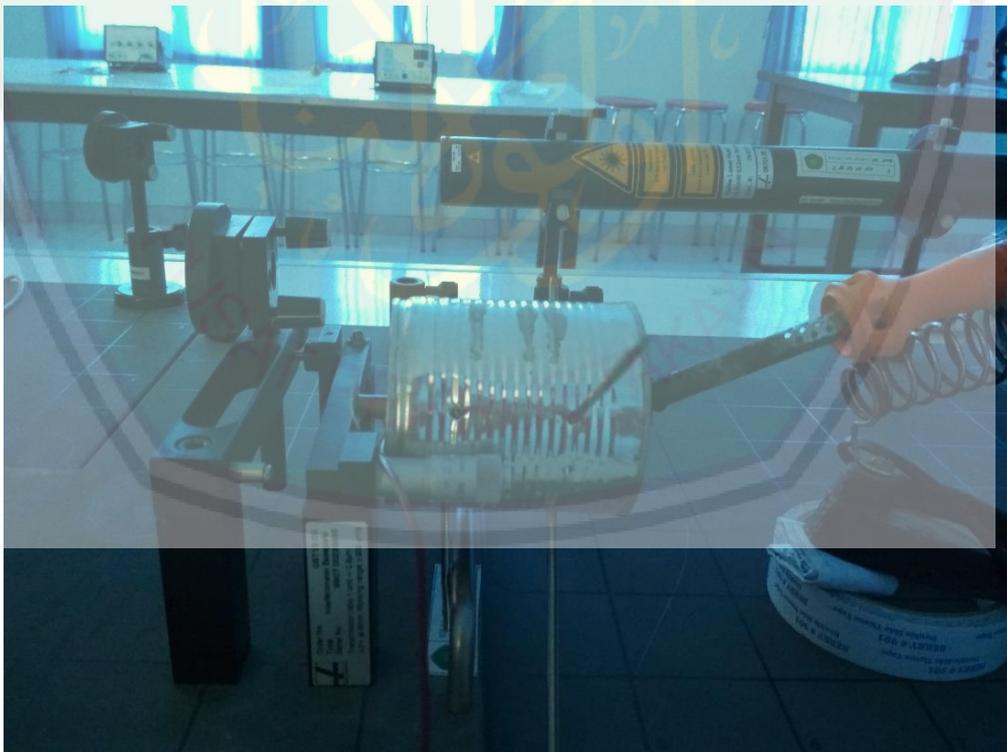
Detektor yang Tersambung dengan Multimeter Digital



Singlemode Fiber Coupler jeni PMMA (POF) saat dilewati Laser He-Ne



Solder dan Termokopel



Solder yang Sedang Memanaskan Logam



Rancang Bangun Sensor Pemuaian Berbasis Fiber Optik



Logam Besi, Tembaga dan Alumunium



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : DITALIA DWI PUTRI PANGESTU
NIM : 12640033
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Rancang Bangun Sensor Pemuaian Logam Berbasis **Fiber Optik**
Pembimbing I : Farid Samsu Hananto, M.T
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	10 Februari 2019	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	5 Mei 2019	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	
3	10 Mei 2019	Konsultasi Data Hasil di Bab IV	
4	17 Mei 2019	Konsultasi Bab IV	
5	20 Mei 2019	Konsultasi Kajian Agama Bab I, II dan IV	
6	21 Mei 2019	Konsultasi Bab V	
7	21 Juni 2019	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
8	21 Juni 2019	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	

Malang, 14 Juni 2019
Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19740513 200312 1 003