

**PENENTUAN KELAJUAN SINAR LASER HELIUM NEON (HeNe) YANG  
MERAMBAT MELALUI UDARA DAN FIBER OPTIK DENGAN  
OSILOSKOP 200 MHz**

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan

Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh

**Nur Evi Kartika Damayanthi**

**NIM 13306141056**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA**

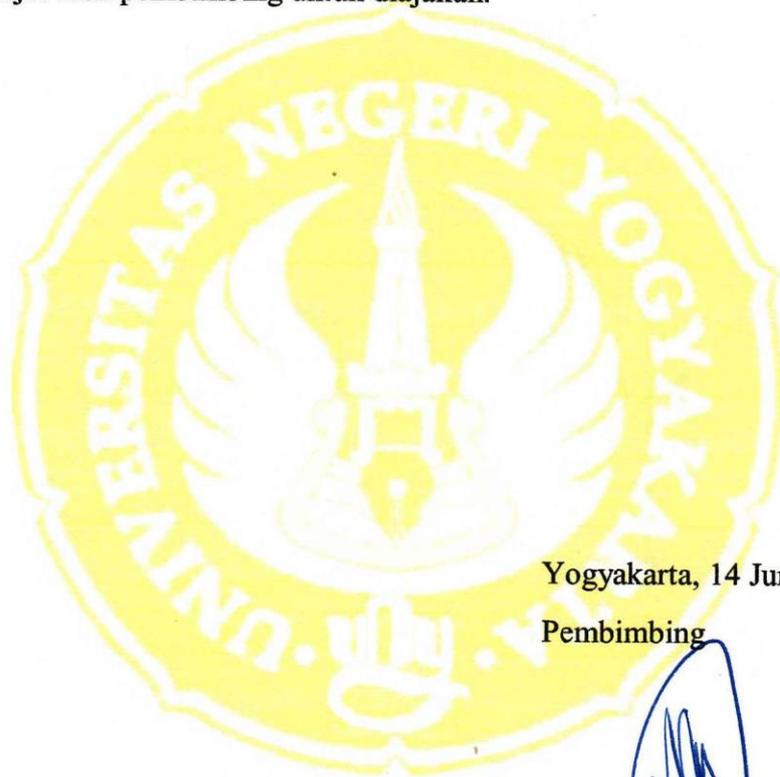
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2017**

## PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “**Penentuan Kelajuan Sinar Laser Helium Neon (HeNe) Yang Merambat Melalui Udara Dan Fiber Optik Dengan Osiloskop 200 MHz**” yang disusun oleh Nur Evi Kartika Damayanthi, NIM 13306141056 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan.



Yogyakarta, 14 Juni 2017

Pembimbing

  
**Nur Kadarisman, M.Si**

**NIP. 196402051991011001**

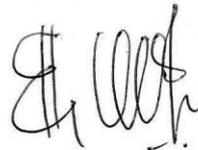
## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan dosen penguji yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi ditunda yudisium pada periode berikutnya.

Yogyakarta, 25 September 2017

Yang menyatakan,



**Nur Evi Kartika Damayanthi**

NIM 13306141056

**PENGESAHAN**

Tugas Akhir Skripsi

**PENENTUAN KELAJUAN SINAR LASER HELIUM NEON (HeNe) YANG  
MERAMBAT MELALUI UDARA DAN FIBER OPTIK DENGAN  
OSILOSKOP 200 MHz**

Disusun oleh:

Nur Evi Kartika Damayanthi

NIM. 13306141056

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi  
Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri  
Yogyakarta

Pada tanggal 25 September 2017

**TIM PENGUJI**

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<b><u>Nur Kadarisman, M.Si</u></b> Ketua Penguji/ Pembimbing		05 - 10 - 2017
<b><u>R. Yosi Apriani Sari, M.Si</u></b> Sekertaris		09 - 10 - 2017
<b><u>Dr. Warsono, S.Pd, M.Si</u></b> Penguji		09 - 10 - 2017

Yogyakarta, 9 Oktober 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



**Dr. Hartono, M.Si**

NIP. 196203291987021002

**MOTTO**

**Mulailah. Beranilah. Dan  
Berjelajahlah Untuk Menjadi  
Bijak.**

## **PERSEMBAHAN**

**Karya ini saya persembahkan untuk :**

**Mamah – Bapak**

**Anissa Eka Fitria - Abdullah Ikhsan Nudin**

**Mbah Wasmen**

**Keluarga Besar TW**

# **PENENTUAN KELAJUAN SINAR LASER HELIUM NEON (HeNe) YANG MERAMBAT MELALUI UDARA DAN FIBER OPTIK DENGAN OSILOSKOP 200 MHz**

**Oleh**

**Nur Evi Kartika Damayanthi**

**NIM 13306141056**

## **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan mengukur kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dan fiber optik dengan osiloskop 200 MHz serta membandingkan besarnya kelajuan sinar laser yang merambat melalui udara dan fiber optik antara hasil penelitian dan analisis teori.

Instrumen penelitian yang digunakan yaitu *Cathode Ray Oscilloscope* (CRO) 200 MHz, *emiter* (laser Helium Neon), fiber optik tipe SH-4001-1.3, *receiver* atau *detector* dan cermin datar. Pada penelitian, jarak atau panjang lintasan pada medium udara diukur dari *emiter* (laser Helium Neon) sampai *receiver* setelah dipantulkan oleh cermin datar. Pada fiber optik tidak menggunakan cermin sebagai pemantul melainkan dihubungkan langsung pada *emiter* dan *receiver* tersebut. Waktu yang ditempuh selama sinar laser Helium Neon merambat diukur dari pergeseran puncak gelombang antara gelombang *emiter* dan gelombang *receiver* yang tampak pada layar osiloskop. Grafik hubungan antara jarak dan waktu tempuh dianalisis dengan metode *fitting* pada aplikasi OriginPro 8 sehingga diperoleh nilai kelajuan dari sinar laser Helium Neon. Secara analisis teori, nilai kelajuan sinar laser Helium Neon diperoleh dari persamaan  $v = \frac{c}{n}$ . Dengan nilai kecepatan cahaya di ruang hampa  $c$  dan nilai indeks bias medium  $n$  yang telah diketahui, maka diperoleh nilai kelajuan secara teori.

Berdasarkan penelitian, kelajuan sinar laser yang merambat melalui udara adalah  $(2,87 \pm 0,12)10^8$  m/s sedangkan yang melalui fiber optik adalah  $(1,84 \pm 0,08)10^8$  m/s. Terdapat selisih nilai kelajuan yang diperoleh antara penelitian dan analisis teori yaitu  $0,13 \times 10^8$  m/s pada medium udara dan  $0,17 \times 10^8$  m/s pada fiber optik.

Kata kunci : Laser Helium Neon (HeNe), Fiber optik, Udara, *Fitting*

**DETERMINATION THE SPEED OF THE HELIUM NEON LASER BEAM  
(HeNe) THAT PROPAGATES THROUGH THE AIR AND FIBER OPTICS  
BY OSCILLOSCOPE 200 MHz**

**Oleh**

**Nur Evi Kartika Damayanthi**

**NIM 13306141056**

***Abstract***

*This study aims to measure the speed of Helium Neon (HeNe) laser beam that propagate through the air by oscilloscope 200 MHz and fiber optics by oscilloscope 200 MHz and also comparing the amount of laser beam propagating through air and fiber optics between experiment result and theory analysis.*

*This research use Cathode Ray Oscilloscope (CRO) 200 MHz, emiter (Helium Neon laser), fiber optics SH-4001-1.3 type, receiver or detector and plan mirror. In this experiment the radius in the air measured by from emiter (Helium Neon laser) until receiver after reflected by plan mirror. In fiber optics doesn't use mirror as a reflected but connected directly on the emiter and receiver. Time that needed by Helium Neon laser propagate measured from the shift peak of wave between emiter wave and receiver wave that appear in the oscilloscope screen. Graphic relation between radius and time analyted by fitting method in the OriginPro 8 application so obtained the velocity value from Helium Neon laser beam. According to analytical theory, velocity of Helium Neon laser obtained from equation  $v = \frac{c}{n}$ . With the light velocity in the vakum medium  $c$  and indeks refractif  $n$  value that been known, so obtained the velocity accoding to theory.*

*The rate of laser beam that propagate on air is  $(2,87 \pm 0,12)10^8$  m/s, whereas that propagate fiber optics is  $(1,84 \pm 0,08)10^8$  m/s. There is differences between result of laser beam from experiment result and theory analysis. In the air is  $0,13 \times 10^8$  m/s and fiber optics is  $0,17 \times 10^8$  m/s.*

**Keyword :** *Helium Neon (HeNe) Laser, Fiber optic, Air, Fitting*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas nikmat dan karunia Allah SWT yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **“PENENTUAN KELAJUAN SINAR LASER HELIUM NEON (HeNe) YANG MERAMBAT MELALUI UDARA DAN FIBER OPTIK DENGAN OSILOSKOP 200 MHz”**. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada jenjang pendidikan S1 di Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis sadar tanpa ada bantuan beberapa pihak penulis tidak dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini, karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

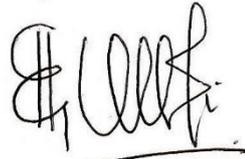
1. Dr. Hartono, M.Si, selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si, selaku Ketua Jurdik Pendidikan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin melakukan penelitian.
3. Nur Kadarisman, M.Si, selaku Ketua Prodi Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta sekaligus pembimbing skripsi yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dan memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran dalam menyelesaikan skripsi di tengah-tengah kesibukan bapak hingga penulis dapat menyelesaikan karya ini.
4. Suparno, Ph.D, selaku Penasehat Akademik yang telah memberi arahan selama menjadi mahasiswa Universitas Negeri Yogyakarta.

5. Haris Murtanto, selaku Petugas Laboratorium Fisika Koloid Jurusan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah banyak membantu dalam menyediakan tempat dan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini.
6. Seluruh Dosen dan Staff Karyawan Jurusan Pendidikan Fisika dan Staff Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ilmu dan melayani mahasiswa dengan sangat baik.
7. Semua yang sudah saya anggap sebagai Bapak dan Ibu saya, yang telah memberikan do'a dan dukungan.
8. Ibu, Bapak, Mbah Wamen dan keluarga besar TW yang telah memberi do'a dan dukungan.
9. Anissa Eka Fitria dan Abdullah Ikhsan Nudin yang telah memberikan dukungan dan motivasi untuk selalu maju.
10. Dina, Yoga, Dini, Mb Asa dan Devi yang telah menjadi partner dan telah menemani, memotivasi, serta banyak membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.
11. Teman-teman Fisika E 2013 yang telah memberikan dukungan, do'a, dan motivasi bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir Skripsi ini dapat dikembangkan lebih baik lagi, maka dengan segala kerendahan hati penulis memohon kepada semua pihak untuk memberikan saran dan masukan untuk perbaikan selanjutnya. Semoga Tugas Akhir Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, dan dapat menambah wawasan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 17 Oktober 2017

Penulis,

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to read 'Nur Evi Kartika Damayanthi'.

**Nur Evi Kartika Damayanthi**

NIM 13306141056

## DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>v</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
A. Teori Gelombang .....	6
1. Gelombang Cahaya .....	13
2. Sejarah Penemuan Teknik Menentukan Kecepatan Cahaya.....	15
3. Teknik Mengukur Waktu Tempuh Cahaya Dengan <i>Cathode Ray Oscilloscope</i> (CRO).....	20
B. <i>Cathode Ray Oscilloscope</i> (CRO) .....	21
C. Medium Udara .....	24
D. Fiber Optik.....	26
1. Struktur Fiber Optik.....	26
2. Fiber Optik Plastik.....	28
E. Laser Helium Neon (HeNe) .....	30
F. Teori Kelajuan.....	32

<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	35
B. Variabel Penelitian .....	35
C. Alat dan Bahan Penelitian .....	36
D. Desain Penelitian.....	37
E. Prosedur Penelitian.....	38
F. Teknik Analisis Data .....	40
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>42</b>
A. Hasil Penelitian .....	42
B. Analisis Data.....	44
C. Pembahasan .....	47
1. Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Udara.....	49
2. Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Fiber Optik .....	50
3. Perbandingan Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Udara dan Fiber Optik secara Penelitian.....	52
4. Perbandingan Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Udara dan Fiber Optik secara Penelitian dan Teori.....	53
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>54</b>
A. Kesimpulan .....	54
B. Saran.....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Beda fase.....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Gambar medan listik dan medan magnet gelombang elektromagnet dalam sistem koordinat.....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Observasi Ole Roemer.....	16
<b>Gambar 2.4</b>	Teknik menentukan kelajuan cahaya dengan CRO.....	20
<b>Gambar 2.5</b>	Skala pada layar osiloskop.....	21
<b>Gambar 2.6</b>	Pengukuran waktu dilakukan pada garis tengah skala horizontal.....	22
<b>Gambar 2.7</b>	Osiloskop <i>dual trace</i> .....	22
<b>Gambar 2.8</b>	Metode Lassajous.....	23
<b>Gambar 2.9</b>	<i>Cathode Ray Osilloscope</i> .....	24
<b>Gambar 2.10</b>	Daftar indeks bias beberapa zat	26
<b>Gambar 2.11</b>	Struktur Kabel Fiber Optik.....	27
<b>Gambar 2.12</b>	Struktur Laser Helium Neon.....	31
<b>Gambar 2.13</b>	Vektor perubahan posisi pada teori kelajuan.....	33
<b>Gambar 2.14</b>	Grafik hubungan jarak dan waktu.....	34
<b>Gambar 3.1</b>	Rancang Bangun alat penelitian 1.....	37
<b>Gambar 3.2</b>	Rancang Bangun alat penelitian 2.....	37
<b>Gambar 4.1</b>	Cara menentukan waktu tempuh pada osiloskop.....	42
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik perubahan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui medium udara.....	44
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik perubahan jarak (panjang fiber) terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui fiber optik.....	45
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik perbandingan perubahan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui udara dan fiber optik.....	45

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Spesifikasi struktur fiber optik tipe SH-4001-1.3.....	29
<b>Tabel 2.2</b>	Spesifikasi performa fiber optik tipe SH-4001-1.3.....	29
<b>Tabel 4.1</b>	Data pengukuran selang waktu sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara.....	43
<b>Tabel 4.2</b>	Data pengukuran selang waktu sinar laser Helium Neon yang merambat melalui fiber optik.....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Data pengukuran waktu tempuh sinar laser Helium Neon dalam menempuh jarak tertentu yang merambat melalui udara.....	57
<b>Lampiran 2</b>	Data pengukuran waktu tempuh sinar laser Helium Neon dalam menempuh jarak tertentu yang merambat melalui fiber optik.....	57
<b>Lampiran 3</b>	Grafik hubungan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara.....	58
<b>Lampiran 4</b>	Grafik hubungan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser Helium Neon yang merambat melalui fiber optik.....	59
<b>Lampiran 5</b>	Grafik perbandingan perubahan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui udara dan fiber optik.....	59
<b>Lampiran 6</b>	Desain alat penelitian.....	60
<b>Lampiran 7</b>	Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium udara pada panjang lintasan 3,7 meter adalah 12 ns dengan perhitungan sebagai berikut .....	60
<b>Lampiran 8</b>	Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium fiber optik pada panjang lintasan 3,1 meter adalah 12 ns .....	61
<b>Lampiran 9</b>	Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium udara pada panjang lintasan 4,1 meter adalah 10 ns.....	61
<b>Lampiran 10</b>	Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium fiber optik pada panjang lintasan 2,9 meter adalah 10 ns.....	61

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Cahaya sudah menjadi salah satu bagian penting dalam kehidupan manusia. Salah satu konsep dalam ilmu fisika yaitu bahwa cahaya dapat diperlakukan sama dengan gelombang elektromagnetik.

Cahaya dapat melintas melalui medium hampa dan medium tidak hampa. Bila cahaya melintas melalui medium tidak hampa, kecepatannya lebih kecil daripada dalam medium hampa. Kecepatan cahaya dalam medium hampa yaitu  $2,99792458 \times 10^8$  m/s (Sears dan Zemansky, 1982). Kecepatan cahaya tersebut merupakan tetapan yang universal.

Usaha pertama untuk mengukur kecepatan cahaya dilakukan oleh Galileo. Tetapi usaha tersebut gagal karena ia tidak dapat mengukur selang waktu yang sangat kecil daripada waktu reaksi manusia yang digunakan cahaya untuk merambat pada jarak beberapa km, sehingga kecepatan cahaya yang didapat terlalu besar (Halliday, 1988). Setelah Galileo, banyak ilmuan yang melakukan eksperimen untuk mengukur kecepatan cahaya. Ole Roemer mencoba mengukur kecepatan cahaya dengan mengukur dan menganalisa perputaran satelit planet Jupiter terhadap Bumi. Louis Fizeau mengukur kecepatan cahaya dengan metode roda gigi berputar pada tahun 1849. Pada eksperimen ini laju roda harus diatur sedemikian rupa sehingga cahaya yang dipantulkan dapat melewati celah dalam roda tersebut (Tipler,

2001). Foucoult melakukan pengukuran kecepatan cahaya dengan metode cermin berputar pada tahun 1862, dan Albert A Michelson mengukur kecepatan cahaya dengan metode prisma berputar pada tahun 1926 dan 1931 (Halliday, 1988).

James Clerk Maxwell membuat suatu teori keelektromagnetan dalam bentuk persamaan yang dikenal dengan persamaan – persamaan Maxwell. Melalui teorinya tersebut, Maxwell menunjukkan bahwa gelombang elektromagnet yang merambat terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus arah rambatnya. Maxwell menghitung kecepatan gelombang elektromagnetik, didapat bahwa gelombang elektromagnet yang merambat di ruang hampa mempunyai kecepatan yang sama dengan kecepatan cahaya. Berdasarkan perhitungan tersebut Maxwell menarik kesimpulan bahwa cahaya merupakan salah satu bentuk dari gelombang elektromagnetik dan mempunyai kecepatan sebesar  $2,99792458 \times 10^8$  m/s.

Salah satu contoh penerapan cahaya adalah pada teknologi fiber optik, dimana cahaya berperan penting sebagai media transmisi pembawa data informasi. Fiber optik adalah jenis kabel yang terbuat dari serat kaca atau plastik yang sangat halus dengan ukuran yang sangat tipis. Berbeda dengan kabel pada umumnya fiber optik tidak menghantarkan listrik melainkan mentransmisikan sinyal cahaya dari satu tempat ke tempat yang lainnya.

Tekhnologi fiber optik sangat diminati oleh berbagai kalangan, hal ini dikarenakan fiber optik menggunakan gelombang cahaya sebagai media transmisinya yang mempunyai kecepatan lebih besar dibandingkan dengan gelombang listrik dan gelombang suara. Kecepatan gelombang cahaya di udara adalah 299.705.543 meter per sekon sedangkan kecepatan gelombang suara adalah 344 meter per sekon di medium udara, sehingga data-data yang dimodulasikan atau ditumpangkan akan ditransfer dengan kecepatan cahaya.

Sejak ditemukannya *Cathode Ray Oscilloscope* 200 MHz yang salah satunya dapat mengukur besaran waktu dalam orde lebih kecil, banyak para ilmuwan yang tertarik menggunakan alat tersebut untuk berbagai penelitian. Seperti halnya dalam eksperimen ini, peneliti menggunakan CRO 200 MHz sebagai pencatat selang waktu dalam menempuh panjang lintasan tertentu untuk mengetahui kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dan fiber optik. Metode analisis data yang digunakan adalah *fitting* pada aplikasi OriginPro 8.

## **B. Identifikasi Masalah**

1. Teknik menentukan kelajuan cahaya dapat dilakukan dengan mengukur dan menganalisa perputaran satelit planet Jupiter terhadap Bumi, seperti yang telah dilakukan oleh Ole Roemer.
2. Teknik menentukan kelajuan cahaya dapat dilakukan dengan metode roda gigi berputar, seperti yang telah dilakukan oleh Louiz Fizeau.

3. Teknik menentukan kelajuan cahaya dapat dilakukan dengan metode cermin berputar, seperti yang telah dilakukan oleh Foucault.
4. Teknik menentukan kelajuan cahaya dapat dilakukan dengan metode prisma berputar, seperti yang telah dilakukan oleh Albert A Michelson.
5. Teknik menentukan kelajuan cahaya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Maxwell yaitu  $v = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$ .

### C. Batasan Masalah

1. Teknik menentukan kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) dilakukan dengan menggunakan osiloskop 200 MHz sebagai pengukur waktu tempuh yang dianalisis dengan metode *fitting*.
2. Jenis laser yang digunakan adalah laser Helium Neon (HeNe) dengan panjang gelombang 632,8 nm.
3. Fiber optik yang digunakan adalah tipe SH-4001-1.3.

### D. Rumusan Masalah

1. Berapa kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dengan osiloskop 200 MHz?
2. Berapa kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui fiber optik dengan osiloskop 200 MHz?
3. Berapakah perbedaan kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dan fiber optik antara hasil penelitian dan analisis teori?

### **E. Tujuan Penelitian**

1. Mengukur kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dengan osiloskop 200 MHz.
2. Mengukur kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui fiber optik dengan osiloskop 200 MHz.
3. Membandingkan kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dan fiber optik antara hasil penelitian dan analisis teori.

### **F. Manfaat Penelitian**

1. Dapat mengetahui kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dengan osiloskop 200 MHz.
2. Dapat mengetahui kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui fiber optik dengan osiloskop 200 MHz.

## **BAB II**

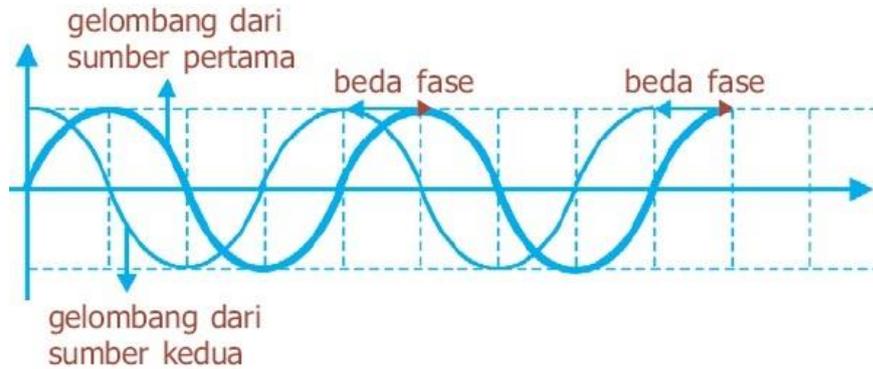
### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Teori Gelombang**

Gelombang adalah energi yang merambat dalam suatu medium. Pada gelombang merambat terjadi perpindahan energi dari satu tempat ke tempat yang lain. Berdasarkan medium gelombang dibagi menjadi dua yaitu gelombang mekanik (membutuhkan medium dalam rambatannya misalnya gelombang tali, gelombang bunyi dan gelombang air) dan gelombang elektromagnetik (tidak membutuhkan medium dalam perambatannya misalnya gelombang elektromagnetik), sedangkan berdasarkan arah rambatannya gelombang dibagi menjadi dua yaitu gelombang longitudinal (arah getar searah dengan arah rambat) dan gelombang transversal (arah getar tegak lurus dengan arah rambatnya).

Di dalam gelombang berjalan, dikenal istilah fase gelombang, sudut fase dan beda fase. Fase gelombang adalah sudut fase yang ditempuh tiap satu putaran. Sudut fase adalah sudut yang ditempuh saat gelombang merambat dalam bentuk sinusoidal, sedangkan beda fase adalah selisih

antara satu fase dengan fase yang lain, dalam artian ada dua gelombang atau lebih (Zahara Muslim : 1996).



Gambar 2.1. Beda fase ([perpustakaan cyber.blogspot.com](http://perpustakaan cyber.blogspot.com))

$$\varphi = \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \text{ (fase gelombang)} \quad (2.1)$$

$$\theta = 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) \text{ (sudut fase gelombang)} \quad (2.2)$$

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda} \text{ (sudut fase gelombang)} \quad (2.3)$$

Salah satu bentuk gelombang adalah gelombang elektromagnetik dimana perambatannya berupa energi elektromagnetik. Energi elektromagnetik tersebut terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang berubah terhadap waktu.

Energi elektromagnetik dalam gelombang tersebut merambat saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambatnya. Perubahan medan listrik terhadap waktu menimbulkan medan magnet dan sebaliknya. Perubahan medan magnet terhadap waktu menimbulkan medan listrik (Sutrisno, 1979).

Maxwell menunjukkan fenomena medan listrik dan medan magnet ke dalam empat persamaan. Menurut Waloejo L (1993:189-191) persamaan-persamaan tersebut merupakan dasar dari teori keelektromagnetan yang di kenal sebagai persamaan Maxwell di ruang hampa.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

$$\vec{\Delta} \cdot \vec{D} = 0 \quad (2.5)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.6)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.7)$$

Arus pergeseran listrik  $D$  sama dengan hasil kali kuat medan listrik  $E$  dengan permitivitas medium  $\epsilon$ .

$$\vec{D} = \vec{E}\epsilon \quad (2.8)$$

Rapat flux magnet  $B$  adalah kuat medan magnet  $H$  dikalikan dengan permeabilitas medium  $\mu$ .

$$\vec{B} = \vec{H}\mu \quad (2.9)$$

Dengan,  $D$  = arus pergeseran listrik

$E$  = kuat medan listrik

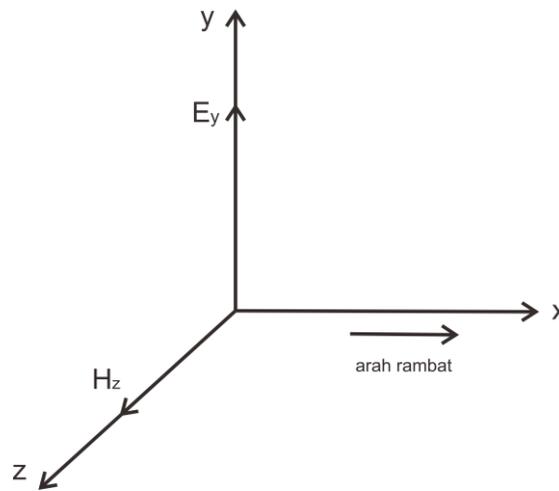
$\epsilon$  = permitivitas medium

$B$  = rapat flux magnet

$\mu$  = permeabilitas medium

Gelombang elektromagnetik yang merambat dimisalkan kedalam sistem koordinat cartesian seperti pada gambar 2.2. Pada gambar tersebut

diperlihatkan bahwa  $\vec{E}$  tegak lurus terhadap  $\vec{H}$  dan keduanya tegak lurus terhadap arah rambat sumbu x. Dimisalkan kuat medan listrik  $\vec{E}$  berada pada sumbu y, maka  $\vec{E} = E_y \hat{j}$ . Medan listrik tegak lurus terhadap medan magnet, sehingga kuat medan magnet  $H$  berada pada sumbu z, maka  $\vec{H} = H_z \hat{k}$ .



Gambar 2.2. Gambar medan listrik dan medan magnet gelombang elektromagnet dalam sistem koordinat (Debora Nainggolan, 2008)

Di dalam gelombang elektromagnetik, medan listrik dan medan magnet saling mempengaruhi. Perubahan medan magnet menimbulkan medan listrik dan perubahan medan listrik menimbulkan medan magnet. Pada gambar medan listrik  $E$  dan medan magnet  $H$  tegak lurus terhadap arah rambatnya (Johanes, 1978). Medan listrik  $E$  berada pada sumbu y maka persamaan 2.6 menjadi :

$$\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}\right) \hat{i} + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x}\right) \hat{j} + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}\right) \hat{k} = \frac{\partial(D_x \hat{i} + D_y \hat{j} + D_z \hat{k})}{\partial t} \quad (2.10)$$

Berdasarkan persamaan 2.8 maka menjadi :

$$\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z}\right) \hat{i} + \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x}\right) \hat{j} + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y}\right) \hat{k} = \varepsilon \frac{\partial (E_x \hat{i} + E_y \hat{j} + E_z \hat{k})}{\partial t} \quad (2.11)$$

Berdasarkan permisalan pada gambar 2.2 tersebut dapat dilihat bahwa medan listrik  $E$  mempunyai komponen pada arah sumbu  $y$  sehingga persamaan 2.11 menjadi :

$$\left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x}\right) \hat{j} = \varepsilon \frac{\partial E_y \hat{j}}{\partial t} \quad (2.12)$$

$$-\frac{\partial H_z}{\partial x} \hat{j} = \varepsilon \frac{\partial E_y \hat{j}}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial x} = -\varepsilon \frac{\partial E_y}{\partial t} \quad (2.14)$$

Dengan permisalan pada gambar 2.2 maka persamaan 2.7 menjadi :

$$\left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}\right) \hat{i} + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}\right) \hat{j} + \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right) \hat{k} = -\frac{\partial (B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k})}{\partial t} \quad (2.15)$$

Dari persamaan 2.9 maka persamaan 2.15 menjadi :

$$\left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}\right) \hat{i} + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}\right) \hat{j} + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right) \hat{k} = -\mu \frac{\partial (H_x \hat{i} + H_y \hat{j} + H_z \hat{k})}{\partial t} \quad (2.16)$$

Karena medan magnet  $B$  mempunyai komponen pada arah sumbu  $z$  maka menjadi :

$$\left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right) \hat{k} = -\mu \frac{\partial H_z \hat{k}}{\partial t} \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial x} \hat{k} = -\mu \frac{\partial H_z \hat{k}}{\partial t} \quad (2.18)$$

Persamaan 2.18 dan 2.14 dapat ditulis dalam bentuk :

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2.20)$$

Persamaan 2.19 diturunkan terhadap x menjadi :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -\mu \frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x} \quad (2.21)$$

Dan persamaan 2.20 diturunkan terhadap t menjadi :

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x} = -\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.22)$$

Persamaan 2.22 disubstitusikan ke persamaan 2.21 sehingga menjadi :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.23)$$

Persamaan gelombang untuk medan listrik adalah :

$$E = E_0 \sin(kx - \omega t) \quad (2.24)$$

Dengan,

$E$  = simpangan medan listrik gelombang elektromagnetik  
pada saat t dan jarak x

$E_0$  = amplitudo gelombang elektromagnetik

$k$  = bilangan gelombang elektromagnetik

$\lambda$  = panjang gelombang

$\omega$  = frekuensi sudut gelombang elektromagnetik

Jika persamaan diturunkan dua kali terhadap  $x$  maka menjadi :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -k^2 E_0 \sin(kx - \omega t) \quad (2.25)$$

Persamaan 2.24 diturunkan dua kali menjadi :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -\omega E_0 \sin(kx - \omega t) \quad (2.26)$$

Dengan demikian dari persamaan 2.25 dan persamaan 2.26 didapat :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{\lambda^2 f^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.27)$$

Dimana  $\lambda$  kali  $f$  merupakan kecepatan gelombang ( $\lambda f = v$ ).

Maka persamaan 2.27 menjadi :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad (2.28)$$

Dari persamaan 2.23 dan 2.28 maka dapat ditarik kesimpulan bahwa gelombang elektromagnetik yang merambat di dalam medium yang permitivitas dan permeabilitas mempunyai kecepatan sebesar :

$$v = \sqrt{\frac{1}{\mu\epsilon}} \quad (2.29)$$

Kecepatan gelombang elektromagnetik yang merambat dipengaruhi oleh permeabilitas dan permitivitas dari medium. Jika gelombang elektromagnetik merambat di dalam medium hampa, maka kecepatan gelombang elektromagnetik adalah sebesar :

$$v = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.30)$$

Dengan nilai permeabilitas ruang hampa  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$  dan permitivitas ruang hampa  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ . Maka diperoleh nilai kecepatan cahaya di ruang hampa sebesar  $v = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

Dari perhitungan yang dilakukan oleh Maxwell didapat bahwa kecepatan gelombang elektromagnet di dalam medium hampa sama dengan kecepatan cahaya  $v = 2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Maxwell menarik kesimpulan bahwa cahaya merupakan salah satu bentuk dari gelombang elektromagnetik.

Berdasarkan kesimpulan Maxwell, maka kecepatan cahaya di medium dapat diketahui dengan menghitung kecepatan gelombang elektromagnetik menggunakan persamaan 2.29. Kecepatan gelombang elektromagnetik yang merambat di dalam medium bukan hampa lebih kecil dibanding dengan kecepatan gelombang elektromagnetik yang merambat di medium hampa. Hal ini karena pengaruh dari mediumnya. Telah disimpulkan bahwa cahaya merupakan salah satu bentuk gelombang elektromagnetik. Dengan demikian kecepatan cahaya juga dapat diketahui menggunakan persamaan Maxwell.

## 1. Gelombang Cahaya

Cahaya adalah suatu jenis gelombang elektromagnet dengan jangkauan frekuensi yang sangat terbatas yaitu antara  $4,3 \times 10^{14}$  sampai

$5,7 \times 10^{14}$  Hz dengan panjang gelombang  $\lambda$  di antara  $7 \times 10^{-7}$  hingga  $4 \times 10^{-7}$  m di dalam ruang hampa dimana cahaya tersebut merambat dengan kelajuan  $c \cong 3 \times 10^8$  m/s. Oleh karena cahaya memenuhi hukum-hukum elektromagnet yang secara keseluruhan tercakup dalam sistem persamaan Maxwell-Lorentz, semua sifat-sifat fisis cahaya dijelaskan berdasarkan teori Klasik (Zahara Muslim : 1996, 325).

Menurut teori kuantum cahaya, tenaga gelombang cahaya monokromatik dengan frekuensi  $\nu$  harus merupakan kelipatan bulat suatu kuantum energi besar  $h\nu$ , dengan  $h$  adalah tetapan Planck yang bernilai  $6,63 \times 10^{-34}$ . Jadi menurut teori kuantum ini, cahaya dapat dipandang sebagai butiran-butiran yang bergerak dengan laju  $c$  dan membawa energi  $h\nu$  serta momentum linear  $(h\nu/c^2)c = h\nu/c = h/\lambda$ ; butiran ini disebut foton (Zahara Muslim : 1996, 326).

Besaran fisis yang dirambatkan oleh cahaya adalah besaran medan elektromagnet yaitu kuat medan listrik (electrical field strength)  $\vec{E}$  dan kuat medan magnet  $\vec{H}$  atau induksi magnet  $\vec{B} = \mu\vec{H} = \mu_0\mu_r\vec{H}$  dengan  $\mu_0$  merupakan permeabilitas mutlak ruang hampa yang mempunyai nilai tepat  $= 4\pi \times 10^{-7}$  H/m,  $\mu$  dan  $\mu_r$  masing-masing adalah permeabilitas mutlak dan relatif (bandingan) medium yang dilalui gelombang (Zahara Muslim : 1996, 327).

Gelombang cahaya khususnya dan gelombang elektromagnetik pada umumnya mempunyai sifat transversal (melintang), yaitu arah

getaran besaran-besaran fisis dasarnya yang dirambatkan tegak lurus dengan arah perambatannya. Selain itu, kuat medan listrik dan magnet arahnya saling tegak lurus sehingga besaran medan adalah  $\vec{\Sigma} = \vec{E} \times \vec{H}$  yang dinamakan vektor poynting, sejajar dengan arah perambatan  $\hat{n}$ . Arah pastinya ditentukan oleh kaidah sekrup yaitu apabila kita memutar sekrup ke kanan dari arah  $\vec{E}$  ke  $\vec{H}$ , maka sekrup ini akan bergerak menuju ke arah  $\hat{n}$  (Zahara Muslim : 1996, 327).

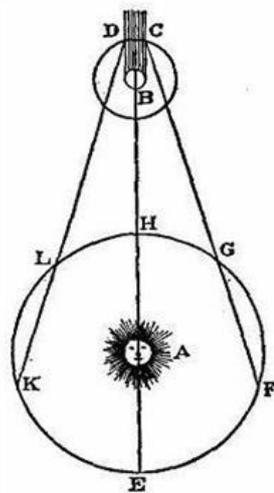
## 2. Sejarah Penemuan Teknik Menentukan Kecepatan Cahaya

Kecepatan cahaya dalam sebuah ruang hampa udara didefinisikan saat ini pada 299.792.458 meter per detik (m/s) atau 1.079.252.848,8 kilometer per jam (km/h) atau 186.282.4 mil per detik (mil/s) atau 670.616.629,38 mil per jam (mil/h), yang ditetapkan pada tahun 1975 dengan toleransi kesalahan  $4 \times 10^{-9}$ .

Pengukuran kecepatan cahaya dimulai pada tahun 1629, Isaac Beeckman melakukan observasi sinar *flash* yang dipantulkan oleh cermin dari jarak 1 mil (1,6 kilometer). Pada tahun 1638, Galileo Galilei berusaha untuk mengukur kecepatan cahaya dari waktu tunda antara sebuah cahaya lentera dengan persepsi dari jarak cukup jauh. Kemudian dilanjutkan pada 1667, percobaan Galileo Galilei diteliti oleh *Accademia del Cimento of Florence*, dengan rentang 1 mil, tetapi tidak terdapat waktu tunda yang dapat diamati. Berdasarkan perhitungan modern, waktu tunda pada percobaan itu seharusnya adalah 11 mikrodetik. Dan Galileo Galilei mengatakan bahwa observasi itu tidak

menunjukkan bahwa cahaya mempunyai kecepatan yang tidak terhingga, tetapi hanya menunjukkan bahwa cahaya mempunyai kecepatan yang sangat tinggi.

Pada tahun 1676, sebuah percobaan awal untuk mengukur kecepatan cahaya dilakukan oleh Ole Christensen Rømer, seorang ahli fisika Denmark dan anggota grup astronomi dari *French Royal Academy of Sciences*. Dengan menggunakan teleskop, Ole Christensen Rømer mengamati gerakan planet Jupiter dan salah satu bulan satelitnya, bernama Io. Dengan menghitung pergeseran periode orbit Io, Rømer memperkirakan jarak tempuh cahaya pada diameter orbit bumi sekitar 22 menit. Jika pada saat itu Rømer mengetahui angka diameter orbit bumi, kalkulasi kecepatan cahaya yang dibuatnya akan mendapatkan angka  $227 \times 10^6$  meter/detik. Dengan data Rømer ini, Christiaan Huygens mendapatkan estimasi kecepatan cahaya sekitar  $220 \times 10^6$  meter/detik.



Gambar 2.3. Observasi Ole Roemer (Tipler, 2001)

Penemuan awal ini diumumkan oleh Giovanni Domenico Cassini pada tahun 1675, periode Io, bulan satelit planet Jupiter dengan orbit terpendek, nampak lebih pendek pada saat Bumi bergerak mendekati Jupiter dari pada pada saat menjauhinya. Rømer mengatakan hal ini terjadi karena cahaya bergerak pada kecepatan yang konstan. Pada bulan September 1676, berdasarkan asumsi ini, Rømer memperkirakan bahwa pada tanggal 9 November 1676, Io akan muncul dari bayang-bayang Jupiter 10 menit lebih lambat daripada kalkulasi berdasarkan rata-rata kecepatannya yang diamati pada bulan Agustus 1676. Setelah perkiraan Rømer terbukti, dia diundang oleh *French Academy of Sciences* untuk menjelaskan metode yang digunakan untuk hal tersebut.

Pada tahun 1704, Isaac Newton juga menyatakan bahwa cahaya bergerak pada kecepatan yang konstan. Dalam bukunya berjudul *Optics*, Newton menyatakan besaran kecepatan cahaya senilai 16,6 x diameter Bumi per detik (210.000 kilometer/detik). Di tahun 1725, James Bradley mengatakan, cahaya bintang yang tiba di Bumi akan nampak seakan-akan berasal dari sudut yang kecil, dan dapat dikalkulasi dengan membandingkan kecepatan Bumi pada orbitnya dengan kecepatan cahaya. Kalkulasi kecepatan cahaya oleh Bradley adalah sekitar 298.000 kilometer/detik (186.000 mil/detik). Teori Bradley dikenal sebagai *stellar aberration*.

Pada tahun 1849, pengukuran kecepatan cahaya, yang lebih akurat, dilakukan di Eropa oleh Hippolyte Fizeau. Fizeau menggunakan roda sprocket yang berputar untuk meneruskan cahaya dari sumbernya ke sebuah cermin yang diletakkan sejauh beberapa kilometer. Pada kecepatan rotasi tertentu, cahaya sumber akan melalui sebuah kisi, menempuh jarak menuju cermin, memantul kembali dan tiba pada kisi berikutnya. Dengan mengetahui jarak cermin, jumlah kisi, kecepatan putar roda, Fizeau mendapatkan kalkulasi kecepatan cahaya pada  $313 \times 10^6$  meter/detik. Pada tahun 1862, Léon Foucault bereksperimen dengan penggunaan cermin rotasi dan mendapatkan angka  $298 \times 10^6$  meter/detik.

Albert Abraham Michelson melakukan percobaan-percobaan dari tahun 1877 hingga tahun 1926 untuk menyempurnakan metode yang digunakan Foucault dengan penggunaan cermin rotasi untuk mengukur waktu yang dibutuhkan cahaya pada 2 x jarak tempuh antara Gunung Wilson dan Gunung San Antonio, di California. Hasil pengukuran menunjukkan 299.796.000 meter/detik.

Pada tahun 1946, saat pengembangan cavity resonance wavemeter untuk penggunaan pada radar, Louis Essen dan A. C. Gordon-Smith menggunakan gelombang mikro dan teori elektromagnetik untuk menghitung kecepatan cahaya. Angka yang didapat adalah  $299.792 \pm 3$  kilometer/detik. Pada tahun 1950, Essen mengulangi pengukuran tersebut dan mendapatkan angka

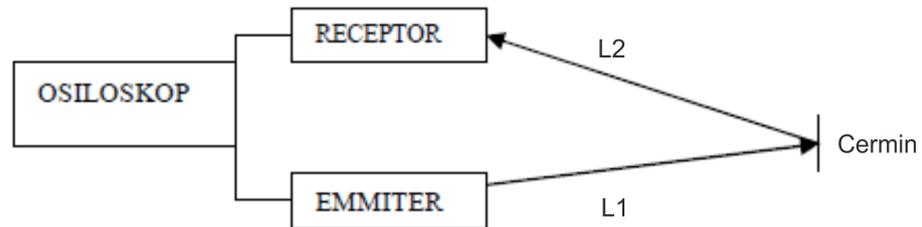
299.792.5±1 kilometer/detik, yang menjadi acuan bagi 12th General Assembly of the Radio-Scientific Union pada tahun 1957.

Angka yang paling akurat ditemukan di Cambridge pada pengukuran melalui kondensat Bose-Einstein dengan elemen Rubidium. Tim pertama dipimpin oleh Dr. Lene Vestergaard Hau dari Harvard University and the Rowland Institute for Science. Tim yang kedua dipimpin oleh Dr. Ronald L. Walsworth, dan Dr. Mikhail D. Lukin dari the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.

Notasi kecepatan cahaya ( $c$ ) mempunyai makna "konstan" atau tetap yang digunakan sebagai notasi kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara, namun terdapat juga penggunaan notasi  $c$  untuk kecepatan cahaya dalam medium material sedangkan  $c_0$  untuk kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara. Notasi subskrip ini dimaklumkan karena dalam literatur SI sebagai bentuk standar notasi pada suatu konstanta, ada juga berbentuk seperti: konstanta magnetik  $\mu_0$ , konstanta elektrik  $\epsilon_0$ , impedansi ruang kamar  $Z_0$ .

Menurut Albert Einstein dalam teori relativitas,  $c$  adalah konstanta penting yang menghubungkan ruang dan waktu dalam satu kesatuan struktur dimensi ruang waktu. Di dalamnya,  $c$  mendefinisikan konversi antara materi dan energi  $E = mc^2$ , dan batas tercepat waktu tempuh materi dan energi tersebut. Nilai  $c$  juga merupakan kecepatan tempuh semua radiasi elektromagnetik dalam ruang kamar dan diduga juga merupakan kecepatan gelombang gravitasi.

### 3. Teknik Mengukur Waktu Tempuh Cahaya Dengan *Cathode Ray Oscilloscope (CRO)*



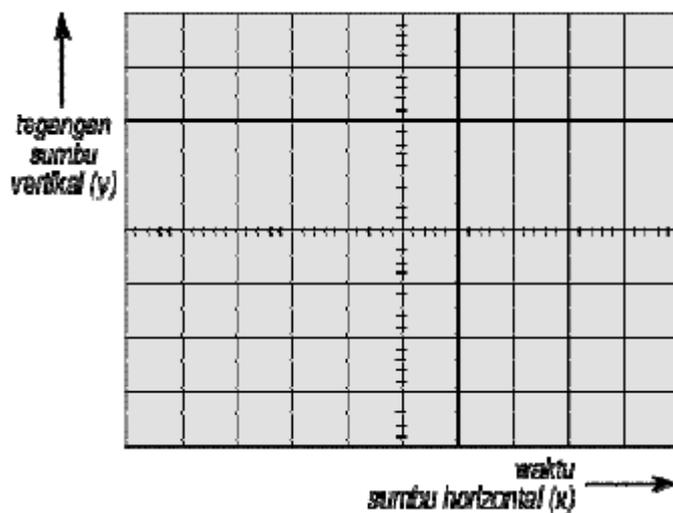
Gambar 2.4. Teknik menentukan waktu tempuh cahaya dengan CRO

(Putu Nopa Gunawan, 2011)

Jika berkas sinar laser yang berasal dari *emiter* (pemancar) diarahkan ke cermin pemantul dengan panjang lintasan  $L_1$  oleh cermin sinar tersebut dipantulkan ke *receiver* ( penerima) dengan panjang lintasan  $L_2$  dalam selang waktu  $\Delta t$  (membaca beda fase dalam *oscilloscope*). Keluran pada CRO berbentuk gelombang, dimana dua *channel* pada alat tersebut digunakan. Dengan adanya perbedaan jarak antara *emiter* dan *receiver*, maka akan diperoleh dua gelombang yang berbeda fasenya. Beda fase dalam alat tesebut menunjukkan waktu tempuh antara gelombang yang dipancarkan dan gelombang yang diterima. Dengan mengubah – ubah panjang lintasan, maka dapat diperoleh beda fase atau waktu yang berbeda. Kemudian perhitungan untuk menentukan kecepatan cahaya menggunakan persamaan  $v = \frac{s}{t}$ .

## B. Cathode Ray Oscilloscope (CRO)

*Cathode Ray Oscilloscope* (CRO) atau sering disebut osiloskop merupakan instrumen dasar yg digunakan untuk mengamati dan mempelajari bentuk gelombang. Alat tersebut dapat mengukur tegangan puncak, frekuensi, periode, beda fasa, lebar pulsa, *delay time*, waktu naik dan turun. Sumbu vertikal (Y) merepresentasikan tegangan V, pada sumbu horisontal (X) menunjukkan besaran waktu t. Layar osiloskop dibagi atas 8 kotak skala besar dalam arah vertikal dan 10 kotak dalam arah horizontal. Tiap kotak dibuat skala yang lebih kecil.

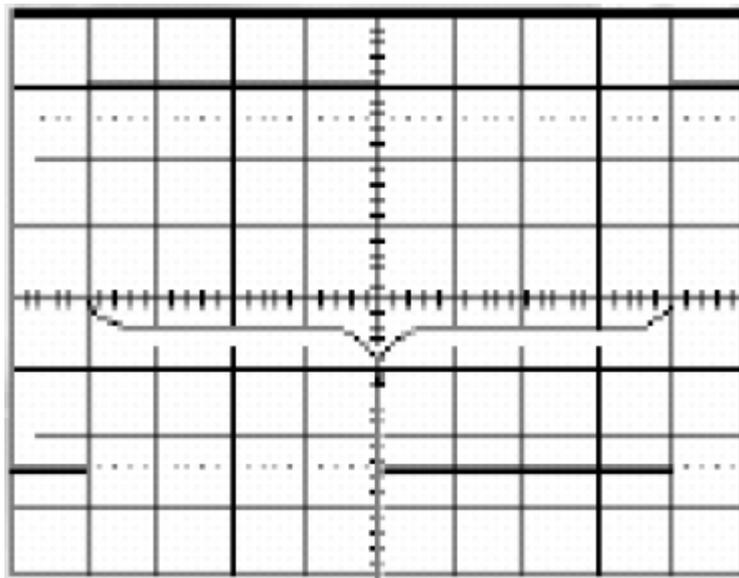


Gambar 2.5. Skala pada layar osiloskop (Putu Nopa Gunawan, 2011)

Osiloskop dibedakan menjadi dua yaitu osiloskop analog dan osiloskop digital. Osiloskop analog menggunakan tegangan yang diukur untuk menggerakkan berkas elektron dalam tabung gambar ke atas atau ke bawah sesuai dengan bentuk gelombang yang diukur. Pada layar osiloskop dapat langsung ditampilkan bentuk gelombang tersebut. Osiloskop digital mencuplik bentuk gelombang yang diukur dan dengan menggunakan ADC

(*Analog to Digital Converter*) untuk mengubah besaran tegangan yang dicuplik menjadi besaran digital.

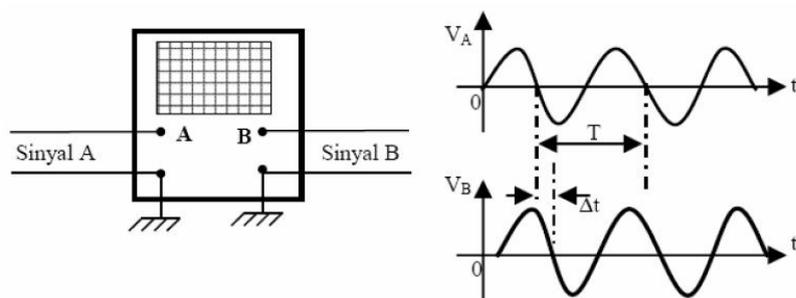
Seperti yang telah dijelaskan bahwa salah satu kegunaan osiloskop adalah untuk mengukur besaran waktu. Untuk mengukur besaran waktu digunakan skala horizontal pada osiloskop. Pengukuran waktu meliputi perioda, lebar pulsa (*pulse width*), dan waktu dari pulsa. Dengan menghitung banyaknya div pada satu gelombang kemudian mengalikannya dengan besaran *time/div* pada osiloskop.



Gambar 2.6. Pengukuran waktu dilakukan pada garis tengah skala horizontal

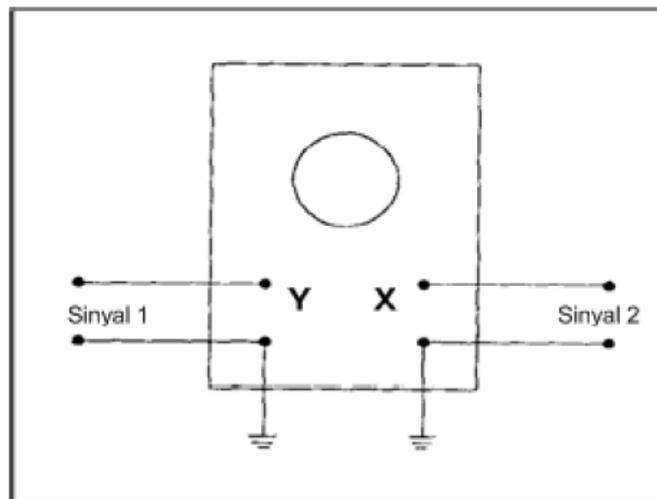
(Putu Nopa Gunawan, 2011)

Selain digunakan untuk mengukur waktu, osiloskop juga digunakan untuk mengukur beda fase antara dua sinyal atau gelombang. Dapat dilakukan dengan dua cara, yang pertama dengan metode *Dual Trace*. Dengan metode ini Sinyal pertama dihubungkan pada kanal A, sedangkan sinyal kedua dihubungkan pada kanal B dari osiloskop.

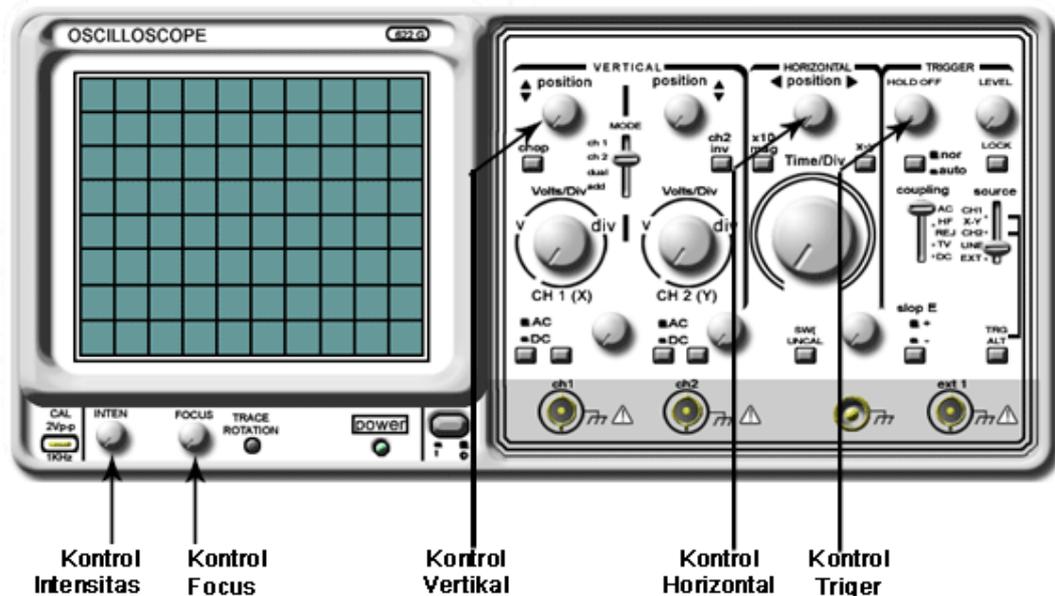


Gambar 2.7. Osiloskop *dual trace* (Putu Nopa Gunawan, 2011)

Metode yang kedua adalah *lassajous*, yaitu Sinyal pertama dihubungkan pada input Y, dan sinyal kedua dihubungkan pada input X osiloskop.



Gambar 2.8. Metode *Lassajous* (Putu Nopa Gunawan, 2011)



Gambar 2.9. *Cathode Ray Osilloscope* (Putu Nopa Gunawan, 2011)

### C. Medium Udara

Secara umum, udara dimaknai sebagai campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang memenuhi ruang di permukaan bumi. Sebagai suatu gas yang ada dipermukaan bumi, udara memiliki istilah lain dalam bidang ilmu pengetahuan, yakni atmosfer. Atmosfer adalah lapisan udara yang menyelubungi bumi yang memiliki empat lapisan yakni troposfer, stratosfer, mesosfer dan termosfer.

Udara terdiri dari berbagai macam gas. Gas-gas yang membentuk udara bila dirinci secara lengkap adalah 28 % zat lemas ( $N_2$ ), 21 % zat asam ( $O_2$ ), 0,9 % argon (Ar), 0,03 % asam arang ( $CO_2$ ), dan 0,07 % unsur lainnya rypton, neon, xenon, hydrogen, serta kalium. Senyawa atau zat-zat yang terkandung di dalam udara ini akan berubah tergantung dengan ketinggian

udara dari permukaan tanah. Hal ini juga berlaku dengan massa udara yang akan berkurang seiring dengan semakin tingginya udara dari permukaan tanah. Semakin dekat dengan lapisan troposfer, maka akan semakin sedikit. Jadi, saat telah melewati batas gravitasi bumi, ruang tersebut akan menjadi hampa udara.

Setiap medium, baik udara, air, kaca, plastik atau yang lain mempunyai indeks bias. Indeks bias pada medium didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara dengan cepat rambat cahaya pada suatu medium. Secara matematis dapat dirumuskan :

$$n = \frac{c}{v}$$

Dimana :

$n$  = indeks bias mutlak

$c$  = kelajuan cahaya di ruang hampa ( $2,99 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

$v$  = kelajuan cahaya di suatu medium tertentu

berikut adalah daftar beberapa nilai indeks bias medium :

Nama zat	Indeks Bias (n)	Nama zat	Indeks Bias (n)
Udara (0,76 cmHg)	1,00029	Gliserol	1,48
Hidrogen (0,76 cmHg)	1,00013	Balsem kanada	1,53
Karbon dioksida (0,76 cmHg)	1,00045	Karbon disulfida	1,62
Air	1,33	Kaca kwarsa	1,45
Es	1,31	Intan	2,42
Etanol	1,36	Kaca korena	1,52
Benzena	1,50	Kaca flinta	1,58

Gambar 2.10. Daftar indeks bias beberapa zat

## D. Fiber Optik

### 1. Struktur Fiber Optik

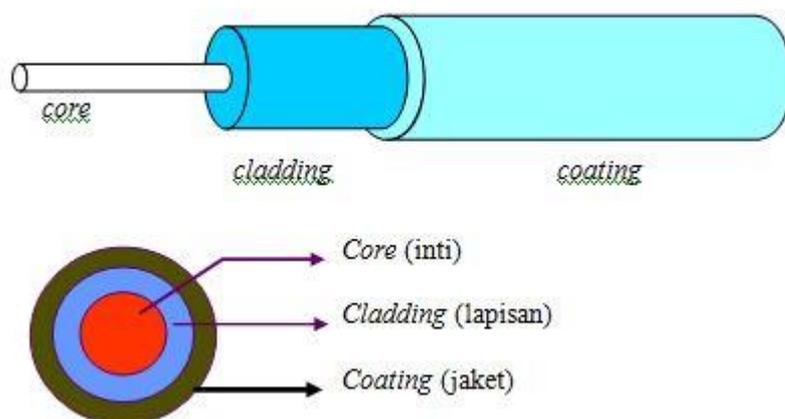
Fiber optik merupakan media transmisi atau pandu gelombang cahaya berbentuk silinder yang dikembangkan diakhir tahun 1960 an sebagai jawaban atas perkembangan sistem komunikasi yang semakin lama membutuhkan *bandwidth* yang besar dengan laju transmisi yang tinggi. Serat optik terbuat dari bahan dielektrik berbentuk seperti kaca. Di dalam serat inilah serat energi cahaya yang dibangkitkan oleh sumber cahaya disalurkan sehingga dapat diterima diujung unit penerima (*receiver*). Cahaya tidak keluar dari serat kaca karena index bias kaca lebih besar dari index bias udara.

Pada dasarnya struktur fiber optik tersusun atas dua bagian utama yaitu *core* dan *cladding* agar dapat mentransmisikan cahaya. *Core* atau silinder terbuat dari kaca silika dan dikelilingi oleh indeks bias yang lebih rendah (Agrawal, 2002 :23). Bagian yang mengelilingi core inilah yang dinamakan *cladding*. *Cladding* berfungsi sebagai cermin

agar cahaya yang masuk ke dalam fiber optik dapat terpantul sempurna (*total internal reflektion*).

Karena ukuran fiber optik yang sangat tipis dan cenderung rapuh, maka diberikan bagian pelindung agar fiber optik tidak mudah rusak. Bagian pelindung tersebut adalah *buffer* (Aristiani, 2012). Bagian pendukung dari fiber optik adalah serat kevlar, tabung pelindung dan gel. Pemberian bahan pendukung bertujuan agar fiber optik tidak mudah rusak atau tahan terhadap gangguan dari luar seperti tekanan, rembesan air, kalor dan lain sebagainya.

Sinyal yang dilewatkan ke dalam fiber optik berupa cahaya, sehingga tidak terpengaruh oleh interferensi elektromagnet dan efek pulsa elektromagnet. Disamping itu fiber optik juga tahan terhadap korosi dan bebas dari bahaya hubungan singkat. Hal itulah yang merupakan kelebihan kabel fiber optik dibanding kabel logam biasa.



Gambar 2.11. Struktur Kabel Fiber Optik  
(<https://www.google.com/search?q=gambar+struktur+fiber+optik&client>)

## 2. Fiber Optik Plastik

Fiber optik plastik (*Polymer Fiber Optic*) adalah fiber optik yang terbuat dari bahan polimer atau plastik dimana pada bagian *core* terbuat dari bahan Polymethyl-Methacrylate Resin dan cladding-nya terbuat dari *Fluorinated Polymer*. Selain itu memiliki perbedaan pada komposisi bahan, ukuran core fiber optik plastik juga jauh lebih besar dibanding fiber optik kaca yaitu sebesar 980  $\mu\text{m}$ . Fiber dengan bahan ini jarang digunakan untuk sambungan komunikasi jarak jauh karena atenuasinya yang sangat besar. Akan tetapi sekarang telah dapat digunakan untuk menggantikan fiber optik silika dalam sambungan komunikasi dekat seperti LAN. Hal ini karena saat ini sudah dapat direduksi hingga berada dibawah 30 dB/km (Maddu, 2007: 29).

Fiber plastik relatif lebih murah dibandingkan fiber silika, sehingga dapat mengurangi biaya untuk mengoperasikannya. Karena harganya yang murah, selain digunakan untuk sambungan komunikasi, fiber plastik juga banyak dikembangkan sebagai sensor karena mudah diubah-ubah dan diberikan perlakuan. Sedangkan fiber optik berbahan silika memiliki ukuran yang sangat kecil dan sulit untuk diberikan perlakuan. Berbagai macam aplikasi dari fiber optik diantaranya sensor, komunikasi, bidang industri dan medis (Aristiani, 2012).

Pada penelitian ini fiber optik plastik yang digunakan untuk membuat sensor yaitu tipe SH-4001-1.3 yang diproduksi oleh

Mitsubishi Rayon Co. LTD. Spesifikasi dari fiber optik tersebut ditunjukkan oleh Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Spesifikasi struktur fiber optik tipe SH-4001-1.3  
(Sumber : <http://i-fiberoptics.com>)

Item		Specification			
		Satuan	Min	Typ	Max
Optical fibe	Bahan <i>core</i>	-	<i>Polymethyl-Methacrylate Resin</i>		
	Bahan <i>cladding</i>	-	<i>Fluorinated polymer</i>		
	Indeks bias <i>core</i>	-	1,49		
	Inseks bias <i>cladding</i>	-	1,41		
	<i>Numerical aperture</i>	-	0,5		
	Diameter <i>core</i>	Mm	920	980	1040
	Diameter <i>cladding</i>	Mm	940	1000	1060
Jacket	Bahan	-	<i>Polyethylene</i>		
	Warna	-	Black		
	Diameter	Mm	1,25	1,30	1,35
	Berat kira-kira	g/m	1,5		
	Indeks bias jaket	-	None		

Tabel 2.2. Spesifikasi performa fiber optik tipe SH-4001-1.3  
(Sumber : <http://i-fiberoptics.com>)

Keadaan		Satuan	Nilai
Penilaian maksimum	Suhu penyimpanan	o <sub>c</sub>	-55~70
	Suhu pemakaian	o <sub>c</sub>	-55~70
Sifat Optik	Pelemahan transmisi	dB/m	.19 Max.
Karakteristik mekanik	Diameter lengkungan minimal	mm	20
	Regangan tarikan	N	65
	Ketahanan putaran	Times	5

## **E. Laser Helium Neon (HeNe)**

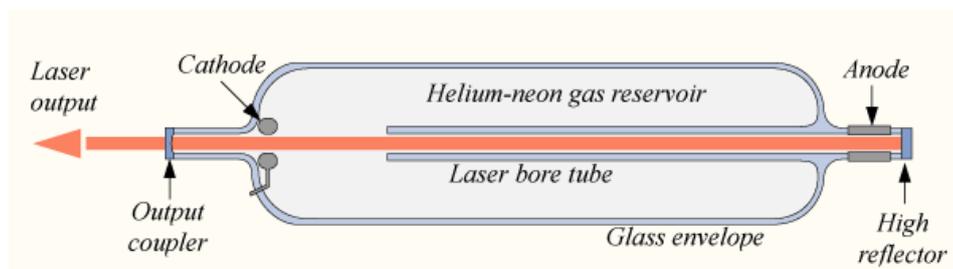
Laser (*Light amplification by stimulated emission of radiation*) adalah suatu sumber yang dapat memancarkan cahaya dengan tingkat kemonokromatisan yang hampir sempurna. Sinar laser berbeda dengan sinar dari cahaya biasa. Ada beberapa ciri laser yang membedakan dengan cahaya biasa, yaitu hanya memancar 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.

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 (~ 1-2 kV). Tiga elemen penting dari laser Helium-Neon adalah pemompa, medium laser dan resonator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam skema gambar.



Gambar 2.12. Struktur Laser Helium Neon (Hooker Simon, 2010)

## F. Teori Kelajuan

Kinematika adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari gerak titik partikel secara geometris, yaitu meninjau gerak partikel tanpa meninjau penyebab geraknya. Kinematika adalah cabang dari ilmu mekanika, yaitu ilmu yang mempelajari gerak benda. Keadaan gerak suatu titik partikel dideskripsikan oleh perubahan posisi partikel sebagai fungsi waktu  $\vec{r}(t)$ . Bila fungsi  $\vec{r}(t)$  sudah diketahui untuk sebarang waktu  $t$ , maka keadaan gerak partikel secara praktis sudah diketahui. Tetapi terkadang informasi tentang gerak partikel tidak diketahui dalam bentuk posisi tetapi dalam besaran-besaran lain.

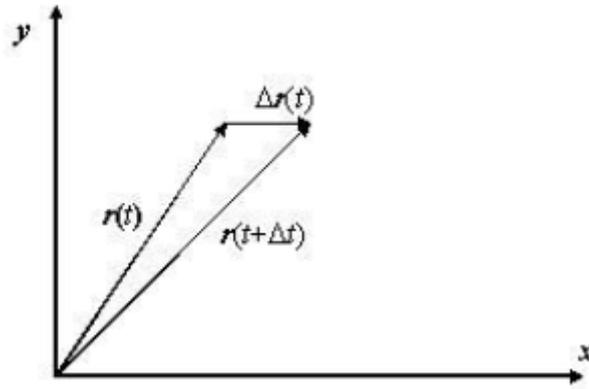
Kecepatan sebuah partikel adalah laju perubahan posisi partikel terhadap waktu. Kecepatan rerata partikel tadi dalam selang waktu  $\Delta t$  didefinisikan sebagai

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Sedangkan kecepatan sesaat didefinisikan sebagai

$$\vec{v} \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Misalkan dalam selang waktu  $\Delta t$ , posisi partikel akan berpindah dari  $\vec{r}(t)$  menjadi  $\vec{r}(t + \Delta t)$  vektor perubahan posisinya adalah  $\Delta \vec{r} = \vec{r}(t + \Delta t) - \vec{r}(t)$ .



Gambar 2.13. Vektor perubahan posisi pada teori kelajuan

Besarnya dari vektor kecepatan sering juga disebut sebagai kelajuan. Kelajuan dari sebuah partikel dapat tidak berubah walaupun kecepatannya berubah, yaitu bila vektor kecepatan berubah arahnya tanpa berubah besarnya.

Bila kecepatan sebuah partikel pada saat  $t$  adalah  $\vec{v}(t)$  maka setelah selang waktu  $\Delta t$  kecepatannya adalah  $\vec{v}(t + \Delta t)$ . Perubahan kecepatannya selama selang  $\Delta t$  diberikan oleh  $\Delta v = \vec{v}(t + \Delta t) - \vec{v}(t)$ . Percepatan sebuah partikel adalah laju perubahan kecepatan partikel terhadap waktu. Percepatan rerata partikel tersebut didefinisikan sebagai  $\vec{a} \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t}$ . Sedangkan percepatan sesaatnya pada saat  $t$  didefinisikan sebagai

$$\vec{a} \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \equiv \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Karena kecepatan dapat dituliskan sebagai derivatif posisi terhadap waktu, maka percepatan adalah derivatif kedua posisi terhadap waktu, yaitu

$$\vec{a} = \frac{d^2 r}{dt^2}$$

Bila kecepatan partikel konstan  $\vec{v}$ , maka percepatannya nol, untuk kasus ini posisi partikel pada waktu dapat diketahui melalui integrasi persamaan berikut ini

$$d\vec{r} = \vec{v}dt$$

Yang bila diintegalkan dari saat awal  $t_0$  dengan posisi ke saat akhir  $t$  dengan posisi  $\vec{r}(t)$

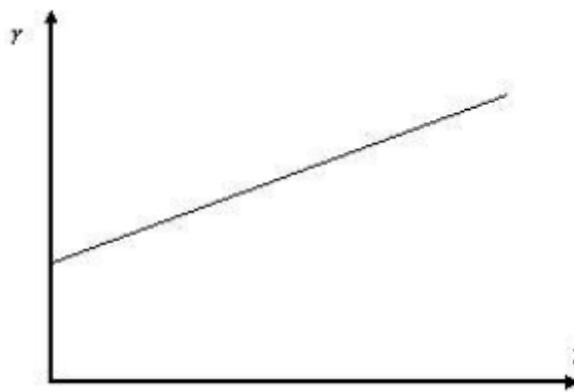
$$\int_{\vec{r}(0)}^{\vec{r}(t)} d\vec{r} = \vec{v} \int_0^t dt$$

$$\vec{r}(t) - \vec{r}(0) = \vec{v}(t - 0)$$

Atau

$$\vec{r}(t) = \vec{r}(0) + \vec{v}t$$

Grafik hubungan posisi dan waktu membentuk garis lurus dengan nilai gradien grafik (kemiringan grafik) sama dengan nilai kecepatan yang konstan yang mewakili persamaan  $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ .



Gambar 2.14. Grafik hubungan jarak dan waktu

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

##### 1. Waktu Penelitian

Penelitian tentang Menentukan Kelajuan Sinar Laser Helium Neon (HeNe) Yang Merambat Melalui Udara Dan Fiber Optik dengan Osiloskop 200 MHz dilakukan pada bulan Februari 2017 hingga Juli 2017.

##### 2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektromagnet dan Optik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

#### **B. Variabel Penelitian**

##### 1. Variabel Bebas

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi jarak/ panjang lintasan baik udara maupun fiber optik.

##### 2. Variabel Terikat

Dari pemberian variabel bebas didapatkan variabel terikat berupa waktu tempuh dari gelombang sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara dan fiber optik.

### 3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain jenis kabel fiber optik, suhu ruangan dan spesifikasi laser Helium Neon dengan panjang gelombang 632,8 nm dan daya keluaran 5 mW.

## C. Alat dan Bahan Penelitian

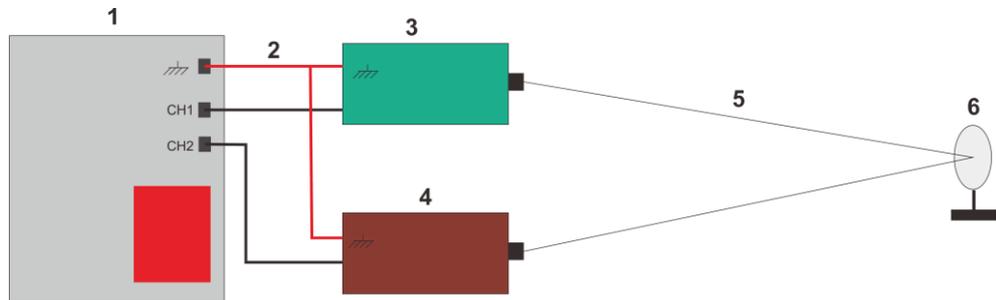
### 1. Alat

- a. Laser Helium-Neon 5 mW 632,8 nm
- b. *Cathode Ray Oscilloscope* 200 MHz
- c. *Receiver light* atau *detector*
- d. Cermin datar
- e. Statif
- f. Mistar dan Meteran
- g. Kabel penghubung
- h. *Cutter*

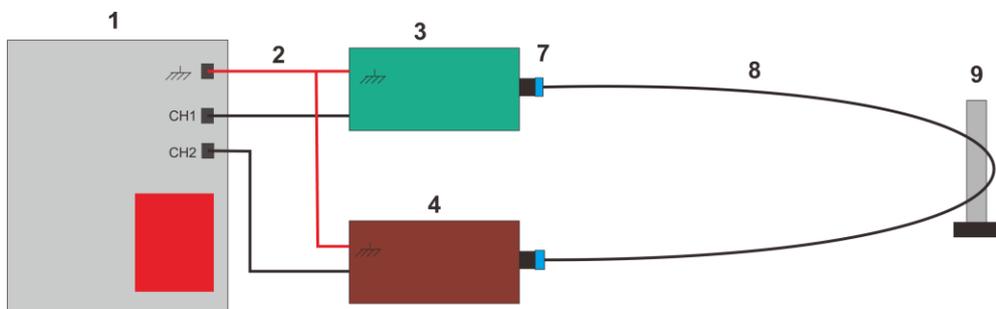
### 2. Bahan

- a. Kabel fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3
- b. Aseton
- c. Amplas halus
- d. Selotip
- e. Sandal bekas

## D. Desain Penelitian



Gambar 3.1. Rancang Bangun alat penelitian 1



Gambar 3.2. Rancang Bangun alat penelitian 2

Keterangan :

1. *Cathode Ray Oscilloscope* 200 MHz
2. Kabel penghubung
3. Laser Helium Neon (HeNe) 5Mw 632,8 nm
4. *Receiver Light* atau *Detector*
5. Rambatannya Laser Helium Neon (HeNe) 5 Mw 632,8 nm
6. Cermin datar
7. Penutup lubang laser dan *detector*
8. Kabel fiber optik plastik tipe SH-4001-1.3
9. Statif

## E. Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini prosedur yang dilakukan antara lain sebagai berikut :

- a. Mengukur kelajuan laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara
  1. Menunggu 10 – 15 menit agar *Cathode Ray Oscilloscope* stabil.
  2. Mengkalibrasi *Cathode Ray Oscilloscope* 200 MHz.
  3. Menghubungkan *Emiter Light* (Laser Helium Neon 5Mw 632,8 nm) pada *Chanel 1 Cathode Ray Oscilloscope*.
  4. Menghubungkan *Receiver Light (Detector)* pada *Chanel 2 Cathode Ray Oscilloscope*.
  5. Menghubungkan port *Ground (GND) Emiter* dan *Receiver Light* pada port *GND Cathode Ray Oscilloscope* dengan resolusi 200 MHz.
  6. Mengatur *time/div* dan *volt/div* agar diperoleh keluaran gelombang yang dapat diamati beda fase ( $\Delta t$ )-nya.
  7. Meletakkan cermin datar yang digunakan untuk memantulkan sinar laser Helium Neon seperti pada gambar rancang bangun alat penelitian 1.
  8. Mengatur jarak cermin datar terhadap *emiter light* dan *receiver light*.
  9. Mengatur cermin datar agar diperoleh pantulan sempurna yaitu sinar laser dapat ditangkap sempurna oleh *receiver light*.
  10. Mengukur kelajuan sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara dengan mengamati jarak antara gelombang yang dihasilkan oleh

*Chanel 1* (gelombang *input*) dan *Chanel 2* (Gelombang *output*) atau sering disebut beda fase.

11. Mengatur jarak yang lain antara cermin datar terhadap *emiter light* dan *receiver light* (variasi jarak).

12. Mengulangi penelitian selama 3 kali.

13. Mencatat hasil pengukuran yang berupa perbedaan jarak (div) antara gelombang yang dihasilkan oleh *Chanel 1* (gelombang *input*) dan *Chanel 2* (Gelombang *output*) atau beda fase.

b. Mengukur kelajuan laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui Fiber Optik

1. Menunggu 10 – 15 menit agar *Cathode Ray Oscilloscope* stabil.

2. Mengkalibrasi *Cathode Ray Oscilloscope* 200 MHz.

3. Menghubungkan *Emitter Light* (Laser Helium Neon 5Mw 632,8 nm) pada *Chanel 1 Cathode Ray Oscilloscope*.

4. Menghubungkan *Receiver Light (Detector)* pada *Chanel 2 Cathode Ray Oscilloscope*.

5. Menghubungkan port *Ground (GND) Emitter* dan *Receiver Light* pada port GND *Cathode Ray Oscilloscope*.

6. Mengatur time/div dan volt/div agar diperoleh keluaran gelombang yang dapat diamati beda fase ( $\Delta t$ )-nya.

7. Meletakkan statif yang digunakan untuk menahan kabel fiber optik seperti pada gambar rancang bangun alat penelitian 2.

8. Mengatur jarak statif terhadap *emiter light* dan *receiver light*.

9. Membuat penutup lubang *emiter* dan *receiver light* dengan memanfaatkan sandal jepit karet dengan melubangi bagian tengah penutup sebagai tempat kabel fiber optik.
10. Membersihkan ujung kabel fiber optik dengan amplas dan aseton.
11. Menghubungkan kabel fiber optik dengan ukuran tertentu dengan penutup lubang.
12. Menghubungkan kabel fiber optik yang sudah ditempatkan pada penutup lubang pada *emiter light* dan *receiver light*.
13. Mengukur kelajuan sinar laser Helium Neon yang merambat melalui fiber optik dengan mengamati jarak antara gelombang yang dihasilkan oleh *Chanel 1* (gelombang *input*) dan *Chanel 2* (Gelombang *output*) atau sering disebut beda fase.
14. Mengatur panjang kabel fiber optik yang lain (variasi jarak).
15. Mengulangi penelitian selama 3 kali.
16. Mencatat hasil pengukuran yang berupa perbedaan jarak (div) antara gelombang yang dihasilkan oleh *Chanel 1* (gelombang *input*) dan *Chanel 2* (Gelombang *output*) atau beda fase.

#### **F. Teknik Analisis Data**

Pada penelitian ini analisis data yang dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Waktu tempuh sinar Helium Neon yang merambat melalui udara dan fiber optik terukur pada layar CRO berupa perbedaan div gelombang *Chanel 1* dan *Chanel 2*.

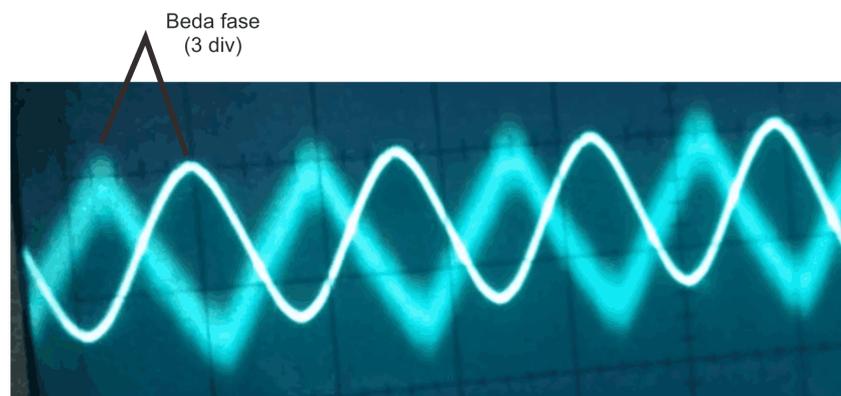
2. Waktu tempuh dicatat pada setiap perbedaan jarak tempuh sinar laser Helium Neon.
3. Pengulangan data dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap penelitian dengan variasi jarak yang sama.
4. Mengubah data yang didapat ke dalam bentuk grafik hubungan antara waktu tempuh dan jarak tempuh sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara dan fiber optik.
5. Menganalisis grafik dengan metode *Fitting*.
6. Menentukan nilai kelajuan dari grafik hasil *fitting* yang merupakan gradien dari grafik tersebut.
7. Menghitung kelajuan sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara dan fiber optik secara teori.
8. Menghitung dan membandingkan regresi grafik dari medium rambatan yang digunakan dalam penelitian.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

Setelah melakukan pengambilan data dalam penelitian ini maka diperoleh data berupa waktu yang ditempuh oleh sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara dan fiber optik. Data berupa waktu tersebut terukur pada CRO 200 MHz dengan melihat pergeseran dari dua puncak gelombang. Gelombang pertama berasal dari *emiter light* (laser Helium Neon yang dipancarkan) dan gelombang kedua berasal dari *receiver light* (laser Helium Neon yang diterima). Berikut adalah cara menentukan waktu tempuh sinar laser Helium Neon dengan osiloskop 200 MHz.



Gambar 4.1. Cara menentukan waktu tempuh pada osiloskop

Pada gambar 4.1 pergeseran gelombang diperoleh 3 div, kemudian mengalikannya dengan besaran waktu time/div yang ter-*setting* pada osiloskop, maka diperoleh waktu tempuh yang digunakan sinar laser Helium Neon untuk merambat. Setiap penelitian dilakukan tiga kali pengulangan, sehingga diperoleh data rata-rata sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data pengukuran selang waktu sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara

Jarak (m)	Waktu (s)
0,60	2,00E-09
1,14	4,00E-09
1,54	6,00E-09
1,74	6,00E-09
1,84	7,33E-09
2,50	8,00E-09
3,20	1,00E-08
3,70	1,20E-08
4,10	1,40E-08
4,60	1,67E-08
5,10	1,80E-08

Tabel 4.2 Data pengukuran selang waktu sinar laser Helium Neon yang merambat melalui fiber optik

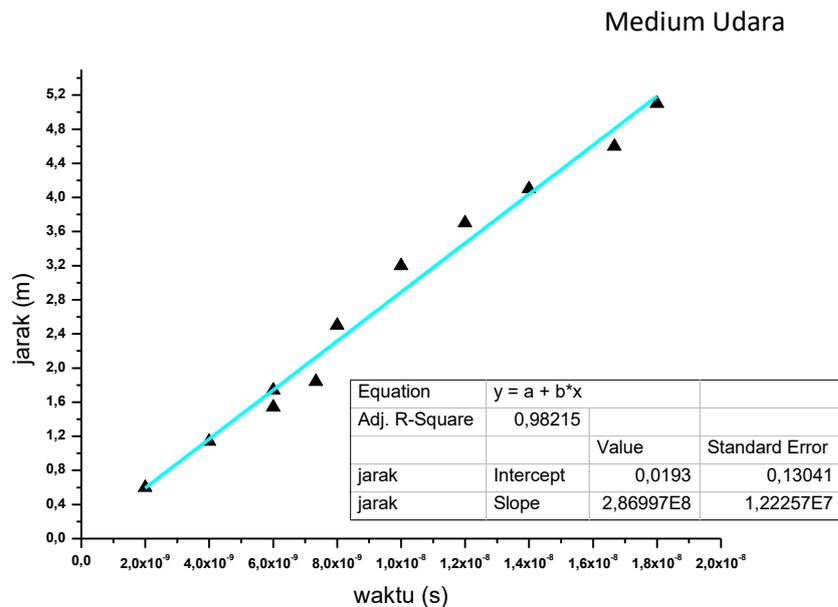
Jarak (m)	Waktu (s)
0,46	2,00E-09
0,86	4,00E-09
1,30	6,00E-09
1,60	6,67E-09
1,80	8,00E-09
2,00	1,00E-08
2,30	1,20E-08
2,90	1,47E-08
3,10	1,60E-08

Dari tabel 4.1 dan tabel 4.2, menunjukkan perubahan selang waktu yang ditempuh sinar laser Helium Neon yang merambat di udara dan fiber

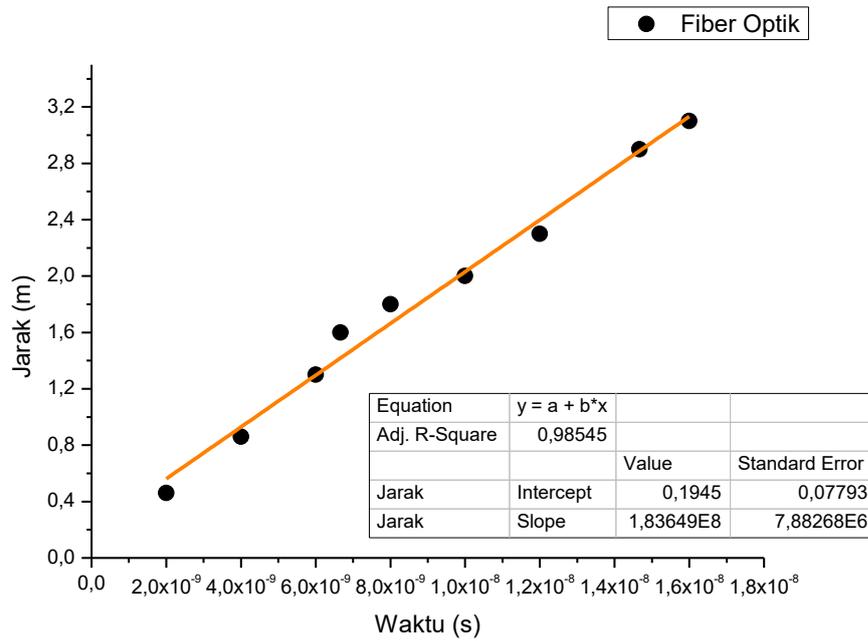
optik setelah menempuh jarak tertentu. Pada tabel 4.2, jarak yang dimaksud adalah panjang dari fiber optik. Kemudian dilakukan *fitting* data yang memperlihatkan hubungan antara jarak tempuh dan waktu tempuh. Hasil analisa menggunakan *fitting* tersebut adalah semakin panjang lintasan maka waktu yang yang ditempuh juga semakin panjang, sehingga dapat disimpulkan hubungan antara jarak dan waktu menghasilkan kurva linier. Dari pem-*fittingan* data diperoleh gradien garis yang menunjukkan nilai kelajuan dari sinar laser Helium Neon tersebut.

## B. Analisis Data

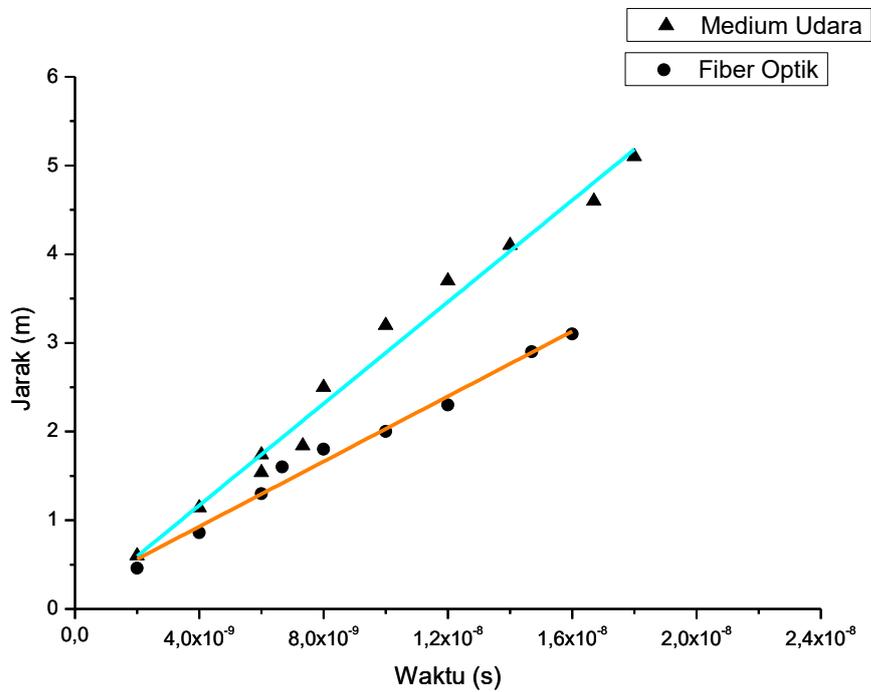
Dari data yang telah diperoleh dilakukan analisa dengan menggunakan aplikasi OriginPro 8. Metode analisa yang digunakan adalah *fitting*. Berikut adalah hasil analisisnya :



Gambar 4.2 Grafik perubahan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui medium udara



Gambar 4.3. Grafik perubahan jarak (panjang fiber) terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui fiber optik



Gambar 4.4. Grafik perbandingan perubahan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui udara dan fiber optik

Berdasarkan data yang telah dianalisa dengan OriginPro 8 dan di *fitting* secara linear diperoleh semakin besar jarak tempuh maka waktu tempuh juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori gerak lurus dalam menentukan kelajuan. Kemudian untuk menentukan kelajuan sinar laser Helium Neon dapat dilihat dari kemiringan atau gradien garis. Dari hasil analisa tersebut diperoleh kelajuan sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara dan fiber optik berturut-turut adalah  $(2,87 \pm 0,12)10^8$  m/s dan  $(1,83 \pm 0,08)10^8$  m/s.

Gambar 4.4 menunjukkan perbedaan kemiringan grafik yang dihasilkan pada pengukuran kelajuan sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara dan fiber optik. Pada analisis tersebut diperoleh kemiringan grafik sinar laser yang merambat melalui udara lebih tajam dibanding sinar laser yang melalui fiber optik.

Setiap medium, baik udara, air, kaca, plastik atau yang lain mempunyai indeks bias. Indeks bias pada medium didefinisikan sebagai perbandingan antara kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara dengan cepat rambat cahaya pada suatu medium. Secara matematis dapat dirumuskan  $n = \frac{c}{v}$ . Udara sendiri mempunyai nilai indeks bias sebesar 1,00029 sedangkan fiber optik plastik dengan tipe SH-4001-1,3 mempunyai indeks bias sebesar 1,49. Dengan mengetahui nilai cepat rambat cahaya di ruang hampa sebesar  $2,99792458 \times 10^8$  m/s maka dengan persamaan tersebut dapat diperoleh :

Kelajuan sinar laser yang merambat di udara adalah

$$v = \frac{c}{n} = \frac{2,99792458 \times 10^8}{1,00029} = 2,9970554339 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Kelajuan sinar laser yang merambat di fiber optik adalah

$$v = \frac{c}{n} = \frac{2,99792458 \times 10^8}{1,49} = 2,0120299195 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Terdapat perbedaan nilai dari hasil analisis penelitian dan analisis teori, hal tersebut akan dibahas pada bab pembahasan.

### C. Pembahasan

Dalam penelitian ini untuk mengukur kelajuan sinar laser Helium Neon digunakan *Cathode Ray Oscilloscope (CRO) dual trace*. Prinsip dari metode ini adalah mengirimkan gelombang elektromagnetik dari satu titik ke titik yang lain dengan menggunakan channel 1 menjadi sumber gelombang pertama, dan channel 2 menjadi sumber gelombang kedua. Pada eksperimen penentuan kelajuan sinar laser yang merambat melalui udara, gelombang elektromagnetik dipancarkan melalui *emiter* yang kemudian *emiter* tersebut dihubungkan pada CH1 CRO lalu gelombang elektromagnetik dipantulkan oleh cermin dan diterima oleh *receiver* yang telah terhubung ke CH2 CRO. Dari hal tersebut, dapat dilihat dua gelombang yang memiliki beda fase yang tampak pada layar CRO. Perbedaan pengukuran pada fiber optik terletak pada tidak digunakannya cermin sebagai media pemantulan. Ujung fiber optik yang satu dihubungkan pada *emiter* dan ujung yang lain dihubungkan ke *receiver*.

Pengukuran dilakukan pada dua medium yaitu udara dan fiber optik. Panjang lintasan (jarak) yang dimaksud pada pengukuran medium fiber optik adalah panjang dari fiber optik yang dilalui oleh gelombang elektromagnet. Selang waktu yang dimaksud merupakan waktu yang diperlukan sinar laser untuk menempuh panjang lintasan. Selang waktu dapat diketahui dengan menghitung jarak puncak atau beda fase gelombang yang tampak pada layar CRO dan mengalikan dengan variabel waktu  $\text{time/div}$  yang digunakan pada CRO.

Sebelum melakukan pengukuran kelajuan sinar laser dimulai, dilakukan pengujian alat-alat yang akan digunakan untuk eksperimen terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi alat apakah bisa berfungsi dengan baik atau tidak. Selain itu dilakukan pula kalibrasi alat khususnya pada CRO.

Setelah diperoleh data, kemudian data dianalisis dengan menggunakan aplikasi OriginPro 8 dengan metode *fitting*. Sebagai bahan acuan, peneliti menganalisis kelajuan sinar laser Helium Neon secara teori yaitu dengan menggunakan persamaan  $v = \frac{c}{n}$ , hal ini digunakan untuk membandingkan apakah hasil data penelitian sesuai dengan teori atau tidak.

Penelitian ini menggunakan pendekatan fisika klasik dalam menentukan kelajuan cahaya. Hal ini disebabkan karena untuk menentukan kelajuan cahaya masih dapat dikaji dengan pendekatan klasik. Pada pendekatan klasik, kelajuan tidak dipandang relativistik, melainkan

kelajuan bernilai sama terhadap semua titik acuan. Pendekatan fisika modern digunakan pada pengkajian seperti efek fotolistrik, efek Compton, spektrum radiasi benda hitam, dan lain sebagainya.

### 1. Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Udara

Pengukuran dilakukan di ruangan dengan suhu ruangan dibuat tetap. Peneliti menggunakan cermin sebagai media pemantul agar tidak membutuhkan area yang lebih luas, sehingga jarak sebenarnya yang terukur adalah dua kali dari jarak *emiter* ke cermin atau *receiver* ke cermin. Panjang lintasan yang digunakan adalah dari 0,6 meter – 5,1 meter, sedangkan waktu tempuh tampak pada layar CRO dengan mengukur jarak dua puncak gelombang atau beda fase gelombang dan mengalikannya dengan variabel waktu  $\text{time/div}$  CRO.

Dari hasil penelitian diperoleh semakin panjang lintasan maka selang waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut juga semakin panjang. Data tampak pada tabel 4.1. Kemudian data tersebut dibuat grafik dan dianalisis secara *fitting*, hal ini tampak pada gambar 4.2. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa hubungan antara jarak lintasan terhadap selang waktu.

Menggunakan persamaan garis :

$$y = a x + b$$

$$s = v t + k$$

Didapat gradien yang merupakan nilai kelajuan gelombang elektromagnetik yang terukur. Dari analisis grafik tersebut diperoleh kelajuan sinar laser helium neon yang merambat melalui udara adalah  $(2,87 \pm 0,12)10^8$  m/s sedangkan secara teori diperoleh  $2,9970554339 \times 10^8$  m/s. Terdapat perbedaan nilai kelajuan, hal ini dipengaruhi oleh banyak faktor yaitu dipengaruhi oleh kondisi alat yang kurang stabil atau terlalu sensitif terhadap lingkungan. Selain itu juga dipengaruhi oleh ketelitian alat yang terlalu besar, sehingga hasil data yang dihasilkan kurang sesuai dengan nilai sebenarnya. Dalam penelitian, peneliti sudah meminimalisir kesalahan atau ketidakteelitian selama pengambilan data.

Dari gradien atau nilai kelajuan yang diperoleh maka dapat ditentukan nilai dari konstanta. Maka didapat persamaan garis tersebut adalah sebagai berikut :

$$s = (2,87 \pm 0,12)10^8 t - 0,019$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa grafik tersebut tidak memotong di titik (0,0), melainkan memotong pada titik (0;-0,019). Hal ini disebabkan salah satunya karena ketidak sempurnaan *receiver* menangkap sinar laser Helium Neon.

## **2. Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Fiber Optik**

Panjang lintasan atau panjang fiber yang digunakan adalah dari 0,46 meter – 3,1 meter. Sedangkan waktu tempuh tampak pada layar

CRO dengan mengukur jarak dua puncak gelombang atau beda fase gelombang dan mengalikannya dengan variabel waktu time/div CRO.

Dari hasil penelitian diperoleh semakin panjang lintasan maka selang waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tersebut juga semakin panjang. Data tampak pada tabel 4.2. Kemudian data tersebut dibuat grafik dan dianalisis, hal ini tampak pada gambar 4.3. Gambar tersebut memperlihatkan hubungan antara jarak lintasan terhadap selang waktu.

Menggunakan persamaan garis :

$$y = a x + b$$

$$s = v t + k$$

Didapat gradien yang merupakan nilai kelajuan gelombang elektromagnetik yang terukur. Dari analisis grafik tersebut diperoleh kelajuan sinar laser helium neon yang merambat melalui fiber optik adalah  $(1,83 \pm 0,08)10^8$  m/s sedangkan secara teori diperoleh  $2,0120299195 \times 10^8$  m/s.

Dari gradien atau nilai kelajuan yang diperoleh maka dapat ditentukan nilai dari konstanta. Sehingga didapat persamaan garis tersebut adalah sebagai berikut :

$$s = (1,83 \pm 0,08)10^8 t + 0,19$$

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa grafik tersebut tidak memotong di titik (0,0), melainkan memotong pada titik (0;0,19). Hal ini disebabkan karena ketidak sempurnaan *receiver* menangkap sinar laser Helium Neon dan adanya jarak antara *emiter* dan *receiver* dengan fiber optik dengan pertimbangan, jika kabel fiber optik ditempelkan langsung pada *emiter* dan *receiver* maka akan merusak alat tersebut.

### **3. Perbandingan Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Udara dan Fiber Optik secara Penelitian**

Pada persamaan  $n = \frac{c}{v}$  apabila nilai indeks bias bahan semakin besar maka kecepatan cahaya yang merambat pada bahan tersebut semakin kecil. Hal ini terbukti pada eksperimen tersebut, yaitu diperoleh nilai kelajuan sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara lebih besar dibandingkan yang merambat pada fiber optik yaitu berturut-turut  $2,86997 \times 10^8$  m/s dan  $1,83649 \times 10^8$  m/s hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4. Atau kelajuan di fiber optik  $1,03348 \times 10^8$  m/s lebih lambat dibanding sinar laser yang merambat di udara. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan nilai indeks bias yang cukup besar antara medium udara dan fiber optik, dimana nilai indeks bias tersebut berturut-turut adalah 1,00029 dan 1,49 atau memiliki perbedaan 0,48971.

#### **4. Perbandingan Kelajuan Sinar Laser Helium-Neon (HeNe) yang Merambat Melalui Udara dan Fiber Optik secara Penelitian dan Teori**

Dari data penelitian dihasilkan nilai kelajuan sinar laser helium neon yang merambat melalui udara dan fiber optik. Namun setelah dibandingkan dengan nilai kelajuan yang dianalisis secara teori, terdapat perbedaan hasil yaitu kelajuan sinar laser yang merambat melalui udara secara analisis  $0,13 \times 10^8$  m/s lebih kecil dibanding secara teori. Sedangkan kelajuan gelombang elektromagnetik yang merambat di fiber optik secara analisis  $0,17 \times 10^8$  m/s lebih lambat dibanding teori.

Hal tersebut dikarenakan oleh beberapa hal. Pertama, alat – alat yang digunakan dalam kondisi kurang baik atau terlalu sensitif sehingga mempengaruhi hasil penelitian. Misalnya CRO yang digunakan sangat sensitif terhadap suhu dan tekanan. Kedua dipengaruhi oleh lingkungan seperti suhu dan *noise* atau gangguan yang tentunya dapat mempengaruhi alat yang digunakan. Ketiga, adalah ketelitian alat yang terlalu besar, sehingga hasil kurang mendekati dari nilai sebenarnya. Misalnya osiloskop yang digunakan mempunyai ketelitian 0,5 div, sehingga dalam penelitian tidak dapat mengukur nilai yang lebih kecil dari 0,5 tersebut.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

1. Hasil pengukuran kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui udara dengan osiloskop 200 MHz adalah  $(2,87 \pm 0,12)10^8$  m/s.
2. Hasil pengukuran kelajuan sinar laser Helium Neon (HeNe) yang merambat melalui fiber optik dengan osiloskop 200 MHz adalah  $(1,83 \pm 0,08)10^8$  m/s.
3. Terdapat selisih nilai kelajuan yang diperoleh dari hasil penelitian dan analisis teori yaitu  $0,13 \times 10^8$  m/s pada medium udara dan  $0,17 \times 10^8$  m/s pada fiber optik.

#### B. Saran

Apabila alat sudah di-*setting* secara benar, maka diharapkan tidak ada pergerakan dari *observer*. Hal ini dikarenakan alat sangat sensitif terhadap lingkungan khususnya osiloskop. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan, ada osiloskop yang mempunyai ketelitian lebih kecil, sehingga data yang akan diperoleh lebih mendekati ke nilai yang sebenarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blendedlearning, ITB. (2012). *Apa Itu Kecepatan Cahaya (Light Speed)*. Diakses dari [http://ITB\\_Blendedlearning - Forum - Detail.html](http://ITB_Blendedlearning - Forum - Detail.html). pada tanggal 12 Agustus 2017, Jam 21.00 WIB
- Crisp, John. (2006). *Serat Optik: Sebuah Pengantar Edisi Ketiga*. Jakarta: Erlangga
- Fatma, Choi. (2016). *Metode Perhitungan Kecepatan Cahaya Armand H. L. Fizeau*. Diakses dari <http://Metode Perhitungan Kecepatan Cahaya Armand H. L. Fizeau.html>. pada tanggal 12 Agustus 2017, Jam 21.20 WIB
- Gunawa, Putu Nopa. (2011). *Osiloskop*. Makasar : UNHAS
- Halliday, Resnick. (2010). *Fisika Dasa Edisi 7 Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Hooker, Simon. (2010). *Laser Physics*. Oxford: Oxford University Press
- Julian. (2010). *Fiber Optic*. Diakses dari : <http://i-fiberoptics.com>. Pada tanggal 7 Juni 2017, Jam 14.00 WIB
- Manik, Henry. (2013). *Osiloskop*. Diakses dari : <http://web.ipb.ac.id/~henrymanik/pdf/Tutorial%20OSILOSOP.pdf> . Pada tanggal 3 September 2017, jam 19.06 WIB
- Muslim, Zahara. (1996). *Gelombang dan Optika*. Yogyakarta : UGM Press
- MT, Anhar. (2012). *Osiloskop*. Diakses dari : <http://anhar.staff.unri.ac.id/files/2012/09/TES-2104-9-2012-2013.pdf>. Pada tanggal 3 September 2017, jam 19.00 WIB
- Nainggolan, Debora. (2008). *Pengukuran Kecepatan Cahaya di Udara dengan Metode Transmisi Gelombang Elektromagnetik pada Kabel Koaksial*. Yogyakarta: Sanata Dharma
- Ricky. (2012). *Kecepatan Cahaya*. Diakses dari <http://KECEPATAN CAHAYA RICKY BLOG'S.html>. pada tanggal 12 Agustus 2017, Jam 21.30 WIB
- Selvarajan, A. (2002). *Optical Fiber Communication Principle and Systems*. Singapore: McGraw-Hill
- Sears, Zemansky. (1982). *Fisika Universitas Jilid 2*. Bandung: Bina Cipta

- Susono. (2013). *Penemuan Laju Cahaya Dan Perambatannya*. Diakses dari [http://Penemuan laju cahaya dan perambatannya.html](http://Penemuan%20laju%20cahaya%20dan%20perambatannya.html). pada tanggal 12 Agustus 2017, Jam 21.10 WIB
- Tipler, Paul A. (1996). *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Tooley, Michael. (2002) . *Prinsip dan Aplikasi Rangkaian Elektronika edisi kedua*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Wijaya, Agustina. (2014). Kabel Fiber Optik. Diakses dari: <https://www.google.com/search?q=gambar+struktur+fiber+optik&client>. Pada tanggal 7 Agustus 2017, jam 20.20 WIB
- Woodward, Bill. (2015). *Fiber Optics Installer (FOI) Certification Exam Guide*. Canada: ETA International

## LAMPIRAN

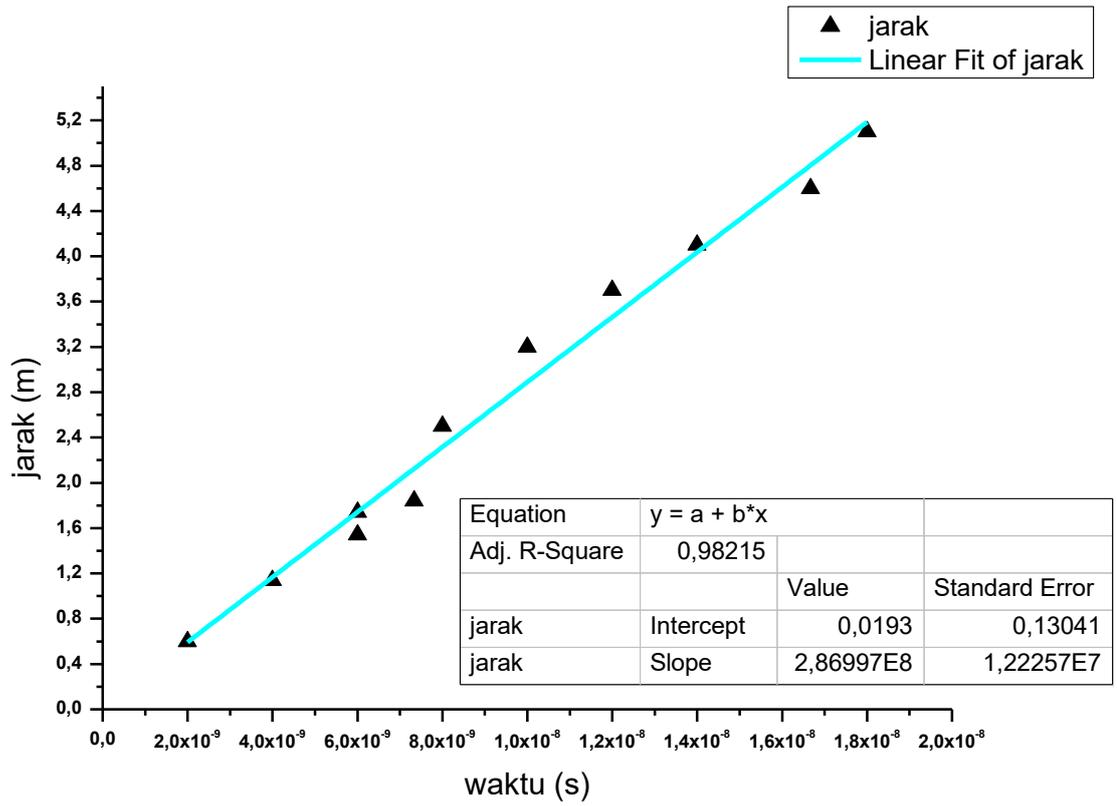
1. Data pengukuran waktu tempuh sinar laser Helium Neon dalam dalam menempuh jarak tertentu yang merambat melalui udara.

Jarak tempuh (m)	Waktu tempuh (s)			Waktu tempuh rata-rata (s)
	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3	
0,60	2,00E-09	2,00E-09	2,00E-09	2,00E-09
1,14	4,00E-09	4,00E-09	4,00E-09	4,00E-09
1,54	6,00E-09	6,00E-09	6,00E-09	6,00E-09
1,74	6,00E-09	6,00E-09	6,00E-09	6,00E-09
1,84	6,00E-09	8,00E-09	8,00E-09	7,33E-09
2,50	8,00E-09	8,00E-09	8,00E-09	8,00E-09
3,20	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08
3,70	1,20E-08	1,20E-08	1,20E-08	1,20E-08
4,10	1,40E-08	1,40E-08	1,4E-08	1,40E-08
4,60	1,60E-08	1,60E-08	1,80E-08	1,67E-08
5,10	1,80E-08	1,80E-08	1,80E-08	1,80E-08

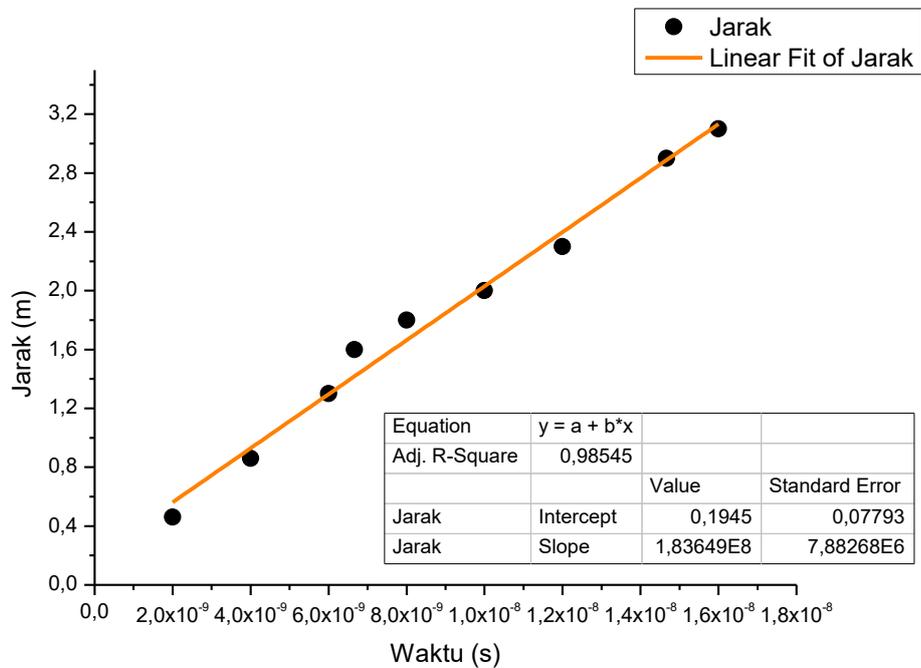
2. Data pengukuran waktu tempuh sinar laser Helium Neon dalam dalam menempuh jarak tertentu yang merambat melalui fiber optik.

Jarak (m)	Waktu tempuh			waktu tempuh rata-rata (s)
	Percobaan 1	percobaan 2	percobaan 3	
0,46	2,00E-09	2,00E-09	2,00E-09	2,00E-09
0,86	4,00E-09	4,00E-09	4,00E-09	4,00E-09
1,3	6,00E-09	6,00E-09	6,00E-09	6,00E-09
1,6	8,00E-09	6,00E-09	6,00E-09	6,67E-09
1,8	8,00E-09	8,00E-09	8,00E-09	8,00E-09
2	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08	1,00E-08
2,3	1,20E-08	1,20E-08	1,20E-08	1,20E-08
2,9	1,40E-08	1,40E-08	1,60E-08	1,47E-08
3,1	1,60E-08	1,60E-08	1,60E-08	1,60E-08

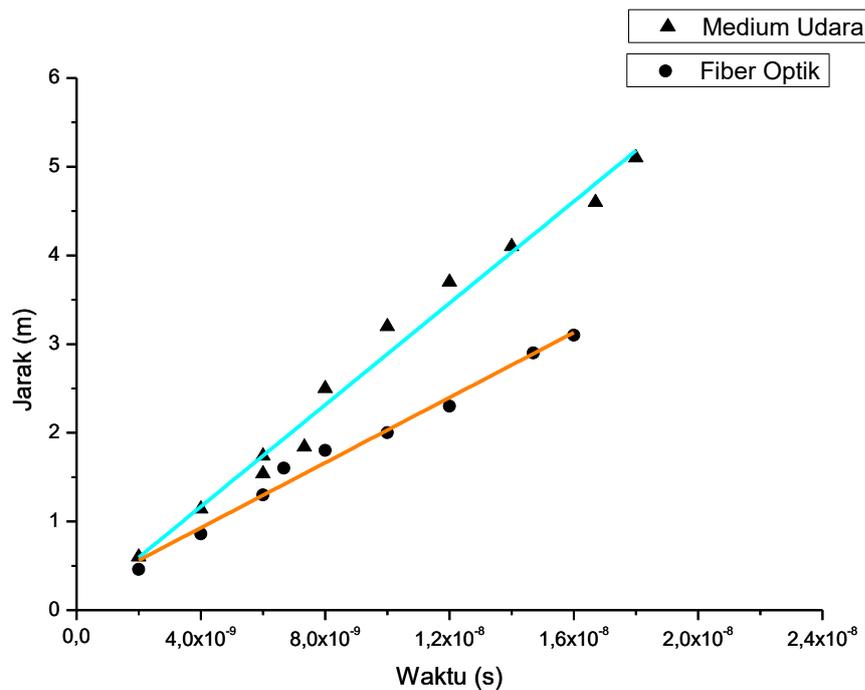
3. Grafik hubungan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser Helium Neon yang merambat melalui udara



4. Grafik hubungan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser Helium Neon yang merambat melalui fiber optik



5. Grafik perbandingan perubahan jarak terhadap waktu tempuh sinar laser HeNe yang merambat melalui udara dan fiber optik

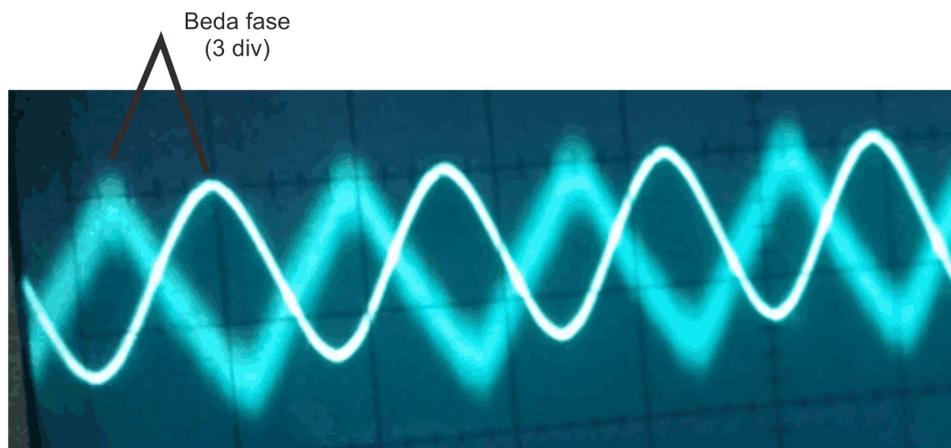


6. Desain alat penelitian

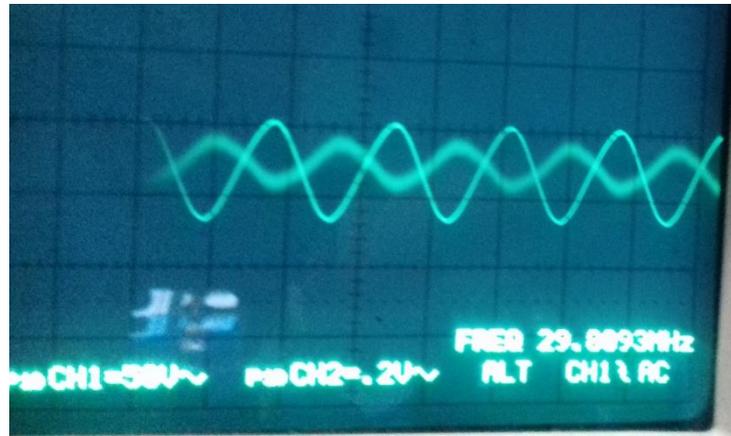


7. Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium udara pada panjang lintasan 3,7 meter adalah 12 ns dengan perhitungan sebagai berikut :

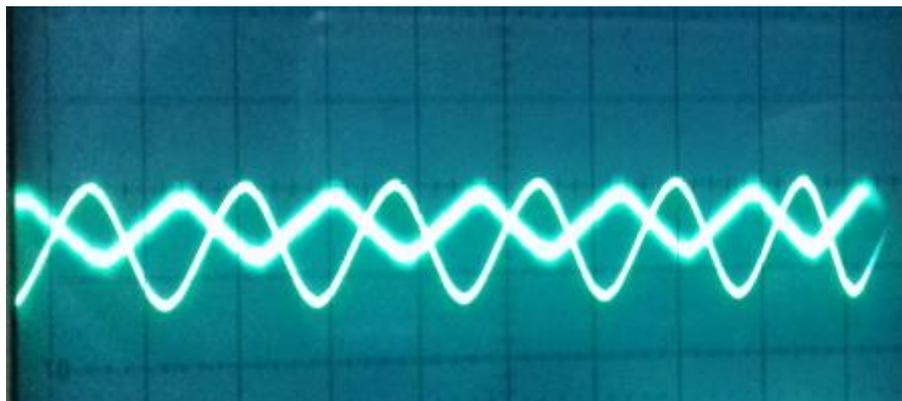
$$t = \text{beda fase} \times \frac{\text{time}}{\text{div}}$$
$$t = 3 \text{ div} \times 4 \text{ ns}$$
$$t = 12 \text{ ns}$$



8. Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium fiber optik pada panjang lintasan 3,1 meter adalah 16 ns.



9. Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium udara pada panjang lintasan 4,1 meter adalah 10 ns.



10. Hasil pengukuran waktu tempuh yang tampak pada layar CRO pada medium fiber optik pada panjang lintasan 2,9 meter adalah 10 ns.

