

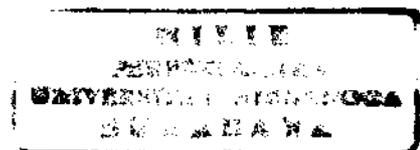
**PEMANFAATAN SENSOR SERAT OPTIK
UNTUK PENGUKURAN AMPLITUDO BENDA
YANG BERGETAR PADA FREKUENSI ULTRASONIC**

SKRIPSI

AGUS SISWANTO



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2006**



**PEMANFAATAN SENSOR SERAT OPTIK
UNTUK PENGUKURAN AMPLITUDO BENDA
YANG BERGETAR PADA FREKUENSI ULTRASONIC**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Sains Bidang Fisika Pada
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Airlangga
Surabaya**

Oleh :

AGUS SISWANTO
089811835

Tanggal Lulus : 13 Februari 2006

Disetujui Oleh,

Pembimbing I



(Drs. M. Yasin, M.Si.)
NIP. 131 933 020

Pembimbing II



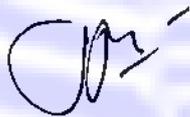
(Samian, S.Si.)
NIP. 132 206 065

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : **Pemanfaatan Sensor Serat Optik Untuk Pengukuran Amplitudo Benda Yang Bergetar Pada Frekuensi Ultrasonic**
Penyusun : **Agus Siswanto**
NIM : **089811835**
Tanggal Ujian : **13 Februari 2006**
Pembimbing I : **Drs. Moh. Yasin, M.Si.**
Pembimbing II : **Samian, S.Si.**

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



(Drs. M. Yasin, M.Si.)
NIP. 131 933 020

Pembimbing II



(Samian, S.Si.)
NIP. 132 206 065

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Airlangga



(Drs. Pujiyanto, M.S.)
NIP. 131 756 001

“ Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan dalam pergantian malam dan siang terdapat tanda – tanda ke – Maha – Esa – an Allah bagi orang – orang yang menggunakan pikiran. Yaitu orang – orang yang mengingat Allah waktu berdiri, waktu duduk dan waktu berbaring. Dan mereka pikirkan rahasia penciptaan langit dan bumi diiringi ucapan. “Ya Tuhan kami, kiranya tidak sia – sia engkau menciptakan ini semua, Maha suci engkau, lindungilah kami dari siksaan api neraka.”. (Ali Imron : 190 – 191)

“Fisika merupakan salah satu tanda – tanda kebesaran Allah, sungguh beruntung bagi mereka yang mau memikirkan kebesaran ALLAH sekaligus meng-Imani-NYA.”.



*Kupersembahkan karya tulis ini
untuk Ayah, Ibu, adik - adikku
dan kakak - kakakku, serta
seluruh keluargaku dan semua
saudaraku umat Islam.*

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga. Diperkenankan dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seijin penulis dan harus menyebutkan sumber sesuai tata cara ilmiah.

Dokumen Skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga

Agus Siswanto, 2006, Pemanfaatan Sensor Serat Optik Untuk Pengukuran Amplitudo Benda Yang Bergetar Pada Frekuensi Ultrasonic. Dosen Pembimbing I, Drs, M. Yasin, M.Si. Dosen Pembimbing II, Sami'an, S.Si. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Telah dilakukan sebuah penelitian tentang pemanfaatan sensor serat optik yang digunakan sebagai sensor mikro pergeseran untuk pengukuran amplitude benda yang bergetar pada frekuensi diatas 20 KHz, atau sering kita sebut sebagai daerah frekuensi ultrasonic. Penelitian ini didasarkan atas rugi daya yang terjadi pada sambungan antar serat. Sensor serat optik yang digunakan adalah serat optik ineks bias undak ragam banyak. Sedangkan piranti penghasil getaran yang digunakan adalah lempeng piezoelektrik yang diambil dari *Tweeter* Piezoelektrik. Benda ini sering kita jumpai dalam dunia audio. Piranti ini digetarkan dengan cara menyuntikkan tegangan bolak – balik dengan frekuensi yang telah ditentukan. Besar frekuensi yang disuntikkan tadi akan digunakan juga sebagai referensi. Tegangan bolak – balik yang berfrekuensi ini dibangkitkan oleh generator frekuensi dengan frekuensi diatas 20 KHz. Apabila lempeng piezoelektrik disuntik dengan tegangan yang berfrekuensi, maka lempeng ini akan berkontraksi mengembang, menyusut sesuai dengan arah polarisasi. Besar amplitude getaran yang diamati adalah dalam satuan volt. Dan satuan tersebut, akan dikonversikan ke dalam bentuk satuan panjang yaitu micrometer.

Kata kunci : serat optik, ragam banyak, indeks bias undak, piezoelektrik, frekuensi, amplitudo, ultrasonik.

Agus Siswanto, 2006, The Exploiting of Optical Fiber Sensor For The Measurement Of Object Amplitude Which Vibrating At Ultrasonic Frequency. Lecturer of Counsellor I, Drs M. Yasin M.Si, Lecturer of Counsellor II, Sami'an S.Si, Faculty of Mathematics And Natural Sciences of Airlangga University

ABSTRACT

It had been done a research about the exploiting of optic fiber sensor which is used as a micro sensor of friction for the measurement of object amplitude which is vibrating at frequency above 20 KHz or often we conceive it as an ultrasonic frequency area. This research is based on the energy loss that happened at optical fiber coupling. The optical fiber sensor which is used is multimode optical fiber sensor with step index. The vibration producer is a piezoelectric plate which taken away from piezoelectric tweeter. We often meet this in the audio world. This apparatus was vibrated by inseminating an AC voltage power with the frequency which had been determined. This AC voltage was supplied by Frequency Generator with frequency range above 20 KHz. If this piezoelectric plate is injected with an AC voltage, this plate will be expanded according to the polarization direction. The value of vibration amplitude is set on volt, and the volt unit will be converted to the length form which set on micrometer.

This research which using an optical fiber as a sensor and piezoelectric plate as a vibration producer was fail. This failure is caused by many reasons to be explained in this book.

Keyword : optical fiber, multimode, step index, piezoelectric, frequency, amplitude, ultrasonic.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil 'alamin segala puji hanya bagi Allah Tuhan penguasa alam semesta yang tanpa perhitungan telah memelihara makhluknya dari awal sampai akhir jaman. Karena tanpa Ridhonya tak mungkin akan tersusun skripsi yang berisi tentang bukti-bukti kekuasaanNYA ini.

Sholawat serta salam kami panjatkan atas junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW. Karena lantaran beliau kita bisa menerima, mempelajari dan mengamalkan kabar – kabar yang indah dari Allah SWT yang tertulis dalam kitab suci-NYA Al – Qur'an. Dan juga atas perkenan beliau yang selalu rela memberikan syafa'atnya hingga akhir zaman. Tanpa perjuangan beliau, mungkin kita tidak akan bisa mengenyam pelajaran – pelajaran yang sangat indah di dunia ini, salah satunya adalah Fisika.

Penyelesaian skripsi dengan judul **“Pemanfaatan Serat Optik Untuk Pengukuran Amplitudo Benda Yang Bergetar Pada Frekuensi Ultrasonic”** ini tidak lepas dari bimbingan, arahan, dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Yang senantiasa penulis muliakan, orang tua penulis di rumah yang telah memberikan dorongan moral, material, dan doa yang tiada mungkin terbalaskan.
2. Bapak Drs. Moh. Yasin, M.Si, selaku pembimbing I yang telah membantu penulis baik ilmu, tenaga, dan waktunya dalam menyelesaikan skripsi ini.

3. Bapak Samian, S.Si, selaku pembimbing II yang dengan penuh keikhlasan dan kesabaran telah mencurahkan tenaga, pikiran serta meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Drs. Pujiyanto, M.S, selaku Ketua Jurusan Fisika yang telah memberi kemudahan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Pihak Dekanat beserta civitas akademika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga yang telah membantu kelancaran studi penulis selama ini.
6. Kakak – kakak dan adik – adik kami di rumah, saudara – saudara kami tercinta, teman – teman dan seluruh pihak yang tidak sempat kami sebutkan atas pertimbangan – pertimbangan dan masukan – masukan yang sangat berarti bagi kami.

Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih terdapat banyak kekurangan sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan proposal skripsi ini. Namun penulis berharap hasil karya ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Februari 2006

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Serat Optik.....	4
2.1.1 Serat Optik Indeks Bias Undak	4
2.1.2 Serat Optik Ragam Banyak	5
2.1.3 Rugi Daya Serat Optik	6

2.2 Laser	7
2.2.1 Laser Untuk Serat Optik	11
2.3 Detektor Optik	12
2.4 Osilasi.....	18
2.5 Resonansi Pada <i>Loudspeaker</i>	23
2.6 Lempeng Piezoelektrik.....	26
2.6.1 Prinsip Kerja Lempeng Piezoelectric.....	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Jenis Penelitian	29
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.4 Prosedur Penelitian	32
3.4.1 Penyiapan Alat.....	33
3.4.2 Pengambilan Data	36
3.4 Metode Analisis Data	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Penelitian	40
4.2 Pembahasan.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
2.1	Serat berindeks bias undak	5
2.2	Tiga cara interaksi radiasi dengan tingkat energi atom	8
2.3	Membangun berkas foton kuat dalam sebuah laser. Tiap Foton yang dipancarkan berinteraksi dengan suatu tingkat eksitasi atom dan menghasilkan dua foton.....	9
2.4	Atom tiga tingkat.....	10
2.5	Atom empat tingkat	11
2.6	Ciri $I - V$ fotodiode untuk $I_p = 0$ dan $I_p \neq 0$	17
2.7	Prinsip kerja Fotodiode Semikonduktor	18
2.8	Kepekaan fotodiode Si, Ge, dan InGaAsP tanpa penguatan dakhil	18
2.9	Osilasi benda yang dilekatkan pada pegas.....	19
2.10	Grafik hubungan antara amplitudo fungsi frekuensi untuk dua nilai konstanta redam b	25
2.11	Prinzip kerja piezoelectric.....	27
3.1	Susunan alat untuk menentukan daerah linieritas antara intensitas keluaran laser terhadap pergeseran	34

3.2	Diagram skematik pengujian frekuensi vibrasi dan pengukuran amplitudo osilasi kecil dengan menggunakan udara sebagai media transmisi sinar	34
3.3	Diagram skematik pengujian frekuensi vibrasi dan pengukuran amplitudo osilasi kecil yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.....	35
4.1	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 20,01 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar	43
4.2	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 30,51 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar	43
4.3	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 41,07 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar	44
4.4	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 50,04 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar	44
4.5	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri PCT-1800 pada frekuensi 26,01 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar	45

4.6	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri PCT-1800 pada frekuensi 33,03 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar45
4.7	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 20,43 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar46
4.8	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 31,50 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar46
4.9	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 40,68 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar47
4.10	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri PCT-1800 pada frekuensi 21,42 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar47
4.11	Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri PCT-1800 pada frekuensi 31,50 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar48
4.12	Grafik tegangan keluaran (mV) terhadap pergeseran (μm)49

4.13	Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo I seri CN-4800	50
4.14	Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo II seri CN-4800	51
4.15	Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo III seri CN-4800.....	51
4.16	Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo I seri PCT-1800	52
4.17	Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo II seri PCT-1800.....	52
4.18	Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo III seri PCT-1800.....	53
4.19	Batas tegangan terendah yang bisa dibaca oleh frekuensimeter.....	56
4.20	(a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800.....	57
4.21	(a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik II seri CN-4800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik II seri CN-4800.	58

4.22	(a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik III seri CN-4800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik III seri CN-4800.....	58
4.23	(a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800.....	59
4.24	(a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik II seri PCT-1800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik II seri PCT-1800.....	59
4.25	(a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik III seri PCT-1800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik III seri PCT-1800	60

DAFTAR LAMPIRAN

Judul	Halaman
Lampiran ke 1	
Data Hasil Penelitian I Set-up Alat Gambar 3.1	73
Lampiran ke 2	
Data Hasil Pengamatan Intensitas Dan Frekuensi Keluaran Serta Data Amplitudo Yang Dilakukan Pada Set-Up Alat Yang Menggunakan Udara Sebagai Media Transmisi Informasi Yang Dibawa Oleh Laser Carrier. Gambar 3.2.....	77
Lampiran ke 3	
Hasil Perhitungan SPSS	85
Lampiran ke 4	
Foto – Foto Hasil Penelitian.....	87

BAB I

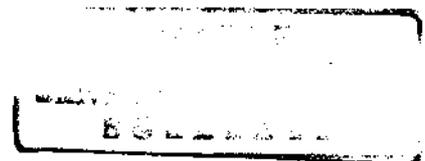
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Serat Optik adalah media pemandu cahaya yang pada awalnya dipergunakan pada system komunikasi serat optik. Penggunaan serat optik dalam system komunikasi merupakan jawaban atas kebutuhan komunikasi yang semakin lama perkembangannya sangat pesat dan padat (Widodo, 1995).

Pada tahap selanjutnya perkembangan aplikasi serat optik merambah ke bidang – bidang yang lain, diantaranya pada bidang kedokteran, instrumentasi dan system pengukuran. Pada bidang kedokteran, serat optik dimanfaatkan sebagai endoskop. Pada instrumentasi dan system pengukuran, serat optik dimanfaatkan sebagai media penyalur data dan system sensor (Suetmatsu, 1982).

Penelitian – penelitian yang memanfaatkan serat optik sebagai sensor diantaranya adalah pemanfaatan serat optik sebagai sensor pengukuran indeks bias cairan (Trisnangsih, 1996), Pada perkembangan selanjutnya, serat optik digunakan untuk mendeteksi sekaligus mengukur amplitudo osilasi sebuah benda yang bergetar pada frekuensi audio (Ridzky, 2004). Metode ini jauh lebih mudah dan praktis bila dibandingkan dengan metode sebelumnya pada pengukuran serupa yaitu dengan menggunakan metode Interferometer Michelson (Prianto, 1995). Keseluruhan metode pengukuran yang menggunakan fenomena optis ini, memiliki kelebihan yaitu mempunyai akurasi yang tinggi yaitu dalam orde gelombang cahaya.



Berdasarkan pada penelitian – penelitian yang memanfaatkan fenomena serat optik tadi seperti yang telah diceritakan diatas, kiranya dapat dilanjutkan untuk pengukuran amplitudo osilasi benda pada frekuensi ultrasonik. Penelitian ini diperlukan agar bisa digunakan sebagai metode yang tepat untuk mengukur amplitudo osilasi benda pada frekuensi ultrasonik, karena sampai saat ini belum ada satu pun penelitian yang membahas tentang masalah ini. Selain itu, getaran yang merupakan fenomena umum dalam dunia industri sangat membutuhkan metode pengukuran seperti ini, terutama yang nantinya diterapkan pada banyaknya mesin - mesin yang beroperasi semisal rotary machinery. Hasil pengukuran yang sesuai dengan kondisi yang sebenarnya sangat dibutuhkan dalam dunia industri ini. Walaupun ada beberapa penelitian yang membahas tentang masalah ini, tetapi pada umumnya penelitian yang dilakukan masih pada frekuensi audio. Oleh karena itulah penelitian ini sangat baik untuk dikerjakan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diceritakan di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Apakah sensor serat optik dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan frekuensi benda yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik ?
2. Apakah sensor serat optik dapat mengukur frekuensi benda yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik ?
3. Apakah sensor serat optik dapat mengukur amplitudo benda yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik ?

1.3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan pembatasan masalah pada bahan yang diamati berupa *Lempeng Piezoelektrik* jenis CN-4800 dan PCT-1800 yang diosilasikan pada daerah frekuensi ultrasonik, hal ini disebabkan oleh karena pemancar ultrasonik yang tersedia di pasaran sangatlah terbatas.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Mengetahui bahwa sensor serat optik dapat digunakan untuk mendeteksi frekuensi benda yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik.
2. Mengetahui bahwa sensor serat optik dapat mengukur frekuensi benda yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik ?
3. Mengetahui bahwa sensor serat optik dapat mengukur amplitudo benda yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik ?

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai metode yang tepat dan akurat untuk mengukur besarnya amplitudo osilasi sebuah benda yang bergetar pada frekuensi ultrasonik sekaligus dapat digunakan untuk mengkarakterisasi bahan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Optik

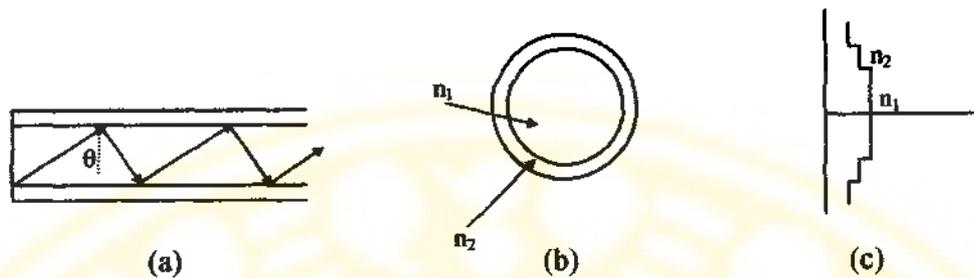
Serat optik adalah suatu saluran transmisi berkas cahaya yang terbuat dari bahan gelas silika berdiameter dalam orde mikrometer. Struktur serat optik terdiri dari bagian dalam yang disebut teras dengan indeks n_1 , diselubungi bahan yang disebut selubung dengan indeks n_2 yang nilainya lebih kecil dibandingkan n_1 dan dilindungi jaket. Berdasarkan profil indeksnya, serat optik dibedakan menjadi dua yaitu serat berindeks undak (*Step Index*) dan serat berindeks berangsur (*Graded Index*), dan berdasarkan profil cacah ragam yang dapat dipandu dibedakan menjadi dua yaitu serat optik ragam banyak (*multimode*) dan serat optik eka ragam (*monomode*).

2.1.1 Serat Optik Indeks Bias Undak

Serat optik indeks undak terdiri atas teras berindeks n_1 , dikelilingi selubung berindeks n_2 . Gambar 2.1 memperlihatkan struktur serat optik indeks undak. Pemanduan penuh dalam serat optik indeks undak mensyaratkan bahwa pantulan θ harus lebih besar atau sama dengan sudut kritis θ_c . Sudut kritis untuk serat optik indeks undak diberikan oleh persamaan berikut :

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana n_2 adalah indeks bias selubung dan n_1 adalah indeks bias teras.



Gambar 2.1 Serat berindeks undak : (a) Penampang bujur, (b) Penampang lintang, (c) Profil indeks bias.

Transmisi cahaya dalam teras dan selubung harus bebas rugi, karena cahaya tidak hanya berjalan di dalam teras, tetapi juga di dalam selubung dalam bentuk gelombang memutar. Bila selubung tidak menyerap, maka cahaya tidak hilang, tetapi berjalan disepanjang serat. Medan yang memutar ini akan menyusut dengan cepat bila tebal selubung beberapa mikron. Selubung diperlukan untuk melindungi teras terhadap goresan, tekukan dan pencemaran yang dapat menimbulkan rugi tambahan.

Serat optik indeks undak mempunyai tiga bentuk yaitu teras kaca berselubung kaca, teras kaca silika berkulit plastik (*Plastic Cladded Silica, PCS*) dan teras plastik berselubung plastik. Perbedaan indeks bias pada serat kaca berselubung kaca umumnya paling kecil, sedikit lebih besar pada serat silika berselubung plastik, dan paling besar pada serat plastik berselubung plastik. Hal ini disebabkan oleh rentang indeks yang tersedia pada kaca terbatas dibandingkan dengan plastik (Widodo, 1995).

2.1.2 Serat Optik Ragam Banyak

Pada serat optik indeks undak maupun indeks berangsur terdapat suatu nilai parameter yang menentukan cacah ragam yang dapat dipandu. Parameter ini

dinamakan parameter pancung dan dilambangkan dengan V . Bila nilai V bagi serat optik $< 2,408$ maka ragam yang dapat dipandu hanya satu (yaitu ragam HE_{11}) dan bila nilai $V \geq 2,408$ maka ragam yang dapat dipandu serat optik lebih dari satu (Keiser, 1991). Serat optik yang merambatkan lebih dari satu ragam disebut serat optik ragam banyak (*multimode*) dan yang hanya merambatkan satu ragam disebut serat optik eka ragam (*monomode*). Bagi serat optik ragam banyak indeks undak, cacah ragam yang dapat dipandu sebesar $V^2/2$ (Snyder and Love, 1983).

2.1.3 Rugi Daya Serat Optik

Perambatan cahaya didalam serat optik dapat mengalami penyusutan tenaga di sepanjang serat. Kerugian energi ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu kerugian ekstrinsik dan intrinsik, kerugian ekstrinsik adalah rugi lekukan dan rugi pada kopel sambungan. Sedangkan kerugian intrinsik adalah rugi serapan, rugi hamburan, rugi bidang batas teras-kulit, rugi fresnel. Kerugian dapat dirinci dalam beberapa bagian seperti persamaan (2.2).

$$A_\lambda + R_\lambda + T_\lambda = 1 \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan ketentuan A_λ , R_λ , dan T_λ adalah koefisien energi yang diserap, dipantulkan dan ditransmisikan.

Karakteristik komponen energi sinar datang yang ditransmisikan dapat diperoleh dari sudut pandang panjang lintasan transmisi dan koefisien penyerapan bahan seperti persamaan (2.3)

$$T = T_0 e^{-\alpha x} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan T = energi yang ditransmisikan melintasi serat sepanjang x

T_0 = energi pada awal penyambungan

α = koefisien penyerapan bahan

x = jarak tempuh dalam bahan

Persamaan (2.3) dikenal sebagai hukum Lambert.

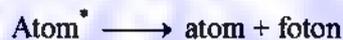
Kerugian energi pada serat akibat penyerapan, hamburan dan sebagainya dinyatakan dalam bentuk persamaan (2.4).

$$\text{Redaman} = \left(\frac{10}{L} \right) \log \left(\frac{\text{energikeluaran}}{\text{energimasukan}} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

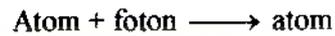
bila L dinyatakan dalam kilometer, kerugian dinyatakan dalam satuan desibel per kilometer (dB/km)

2.2 Laser

Ada tiga cara radiasi elektromagnet berinteraksi dengan tingkat energi atom. Interaksi yang pertama adalah apabila sebuah atom dalam keadaan eksitasi bertransisi ke tingkat yang lebih rendah, dengan memancarkan sebuah foton. Ini adalah pemancaran spontan (*spontaneous emission*) yang kita nyatakan sebagai



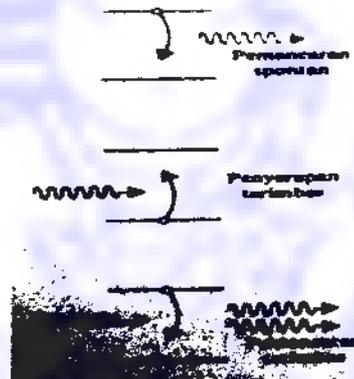
Tanda asteriks menunjukkan suatu keadaan eksitasi. Interaksi yang kedua, penyerapan terimbas (*induced absorption*), yang yang bertanggung jawab sebagai spektrum serap dan penyerapan resonans. Sebuah atom pada keadaan dasar menyerap sebuah foton dengan energi memadai dan bertransisi ke suatu keadaan eksitasi. Secara perlambang.



Interaksi ke tiga. Yang bertanggung jawab bagi cara kerja laser adalah pemancaran terimbas atau terangsang (*induced or stimulated emission*). Dalam proses ini, atom berada pada keadaan tereksitasi. Sebuah foton yang jatuh pada atom tersebut dengan energi yang tepat sama, akan mengimbasinya memancarkan sebuah foton dengan bertransisi ke keadaan yang lebih rendah atau dasar. Secara perlambang



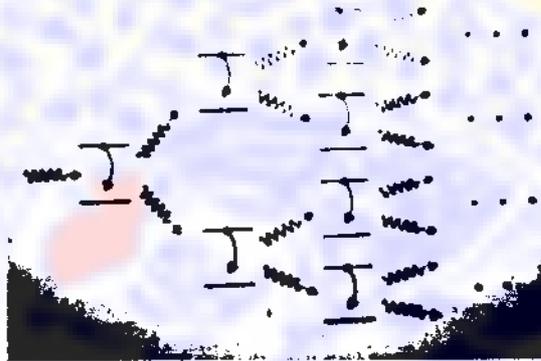
Hasil yang terpenting dari reaksi ini adalah bahwa kedua foton yang terpancarkan bergerak dalam arah yang sama dan dengan energi yang sama pula. Akibatnya gelombang elektromagnet yang bersangkutan betul – betul sefase atau koheren.



Gambar 2.2 Tiga cara interaksi radiasi dengan tingkat energi atom (Krane, 1992)

Andaikan ada sekumpulan atom yang semuanya berada dalam keadaan tereksitasi. Seperti gambar 2.3, sebuah foton yang melewati atom pertama, menyebabkan terjadi pemancaran terimbas yang menghasilkan dua buah foton. Masing – masing foton ini akan menyebabkan pemancaran terimbas yang

menghasilkan total empat buah foton. Proses ini terus berlangsung dengan hasil penggandaan jumlah foton pada setiap tahapan, hingga tercipta sebuah foton yang kuat, yang semuanya koheren dan bergerak pada arah yang sama. Secara sederhana ini adalah dasar cara kerja laser.

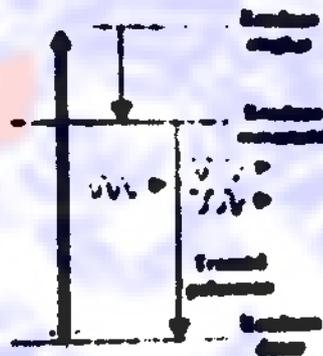


Gambar 2.3 Membangun berkas foton kuat dalam sebuah laser. Tiap Foton yang dipancarkan berinteraksi dengan suatu tingkat eksitasi atom dan menghasilkan dua foton. (Krane, 1992)

Model sederhana bagi laser ini tidak dapat bekerja karena beberapa alasan. Pertama, karena sulit untuk mempertahankan sekelompok atom pada keadaan eksitasi mereka hingga dirangsang memancarkan foton. Kedua, karena atom – atom yang masih berada pada keadaan dasarnya akan menyerap foton yang lewat sehingga menghilangkan beberapa foton dari berkas penggandaan foton yang sedang dibangun.

Pemecahannya adalah dengan memilih suatu atom yang memiliki tiga tingkat energi, (Gambar 2.4). Atom – atom yang mula – mula berada pada keadaan dasar. Dipompa ke suatu keadaan eksitasi oleh suatu sumber energi luar (pulsa elektrik atau sorotan cahaya). Keadaan eksitasi kemudian meluruh (oleh

pemancaran spontan dengan cepat sekali ke suatu tingkat eksitasi yang lebih rendah yang bersifat metastabil (atom berada pada keadaan itu cukup lama). Transisi dari keadaan metastabil kembali ke keadaan dasar adalah transisi pelaseran (*lasing*), yang di imbas oleh sebuah foton yang lewat. Sistem laser tiga tingkat ini dapat memecahkan persoalan pertama yang menggunakan sistem dua tingkat.



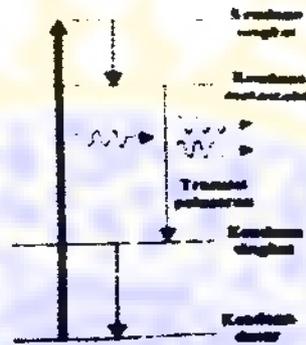
Gambar 2.4 Atom tiga tingkat (Krane, 1992)

Tetapi sistem ini tidak memecahkan problema yang kedua tadi. Atom – atom tingkat dasar akan menyerap foton – foton hasil transisi pelaseran dan menghilangkannya dari berkas.

Kesulitan ini diatasi dengan laser empat tingkat (Gambar 2.5). keadaan dasarnya dipompakan dalam suatu keadaan eksitasi yang meluruh dengan cepat sekali ke suatu keadaan metastabil.

Transisi pelaseran kemudian berlanjut dari keadaan metastabil ini ke suatu keadaan eksitasi yang lain, yang selanjutnya meluruh dengan cepat sekali ke keadaan dasar. Atom pada keadaan dasar tidak sempat menyerap foton oleh

karena energi transisi pelaseran ini. Inilah prinsip laser yang dapat bekerja. Laser Helium Neon (He-Ne) adalah salah satu contoh laser empat tingkat.



Gambar 2.5 Atom empat tingkat (Krane, 1992)

2.2.1 Laser Untuk Serat Optik

Sumber cahaya dalam serat optik bekerja sebagai pemancar cahaya yang membawa informasi. Sumber cahaya tersebut harus memenuhi beberapa persyaratan yang diperlukan. Pertama, cahaya yang dihasilkan harus bersifat monokromatis (berfrekuensi tunggal). Kedua, sumber tersebut harus mempunyai keluaran cahaya yang berintensitas tinggi, sehingga mampu mengatasi rugi-rugi transmisi yang dijumpai sepanjang serat optik. Yang terakhir, keluaran sumber cahaya harus berukuran kecil, ringkas dan mudah dihubungkan dengan serat optik (Widodo, T.S., 1995).

Bila suatu arus prasikap yang sesuai melewati laser injeksi, elektron-elektron dan lubang-lubang akan bergerak menuju daerah aktif dan berekombinasi menghasilkan foton. Sebagian foton terjebak dalam daerah aktif yang dikelilingi semacam dinding dan berlaku seperti cermin. Foton dalam daerah aktif terpantul-

pantul kesana – kemari sehingga merangsang elektron bebas untuk berekombinasi dengan lubang dan memancarkan kembali foton. Untuk mempertahankan rekombinasi terangsang, dibutuhkan arus prasikap yang mampu mencatu pembawa – pembawa (elektron bebas dan lubang).

Energi cahaya tidak seluruhnya terjebak dalam daerah aktif. Sebagian diantaranya terpancar keluar melalui celah sempit pada dinding yang bersifat sebagai cermin parsial.

Arus prasikap maju suatu laser injeksi harus dipertahankan pada suatu nilai yang konstan. Arus ambang ini sangat sensitif terhadap perubahan suhu piranti. Pada pengoperasiannya suhu piranti harus distabilkan untuk menghindari perubahan fluks cahaya keluaran yang tidak diinginkan.

Dalam penelitian ini digunakan laser diode, akan tetapi apabila rugi daya yang terjadi tidak bisa diatasi, maka akan digunakan laser Helium Neon.

2.3 Detektor Optik

Detektor optik adalah suatu piranti yang dapat mendeteksi gelombang cahaya yang datang dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik itu kemudian diperkuat agar dapat dibaca pada osiloskop. Pada piranti penerima serat optik diperlukan detektor yang mempunyai sensitivitas tertinggi pada daerah panjang gelombang sumber optik.

Ada beberapa karakteristik yang penting diketahui pada suatu fotodetektor, yaitu :

1. Tanggapan (*Responsivity*, ρ)

Tanggapan adalah perbandingan antara arus keluaran dengan daya optik masukan, atau dengan persamaan :

$$\rho = i/p \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan ρ = tanggapan (ampere/watt)

i = arus keluaran detektor (ampere)

p = daya optik masukan (watt).

2. Tanggapan spektral (*Spectral Response*)

Tanggapan spektral adalah kurva tanggapan detektor sebagai fungsi panjang gelombang. Tanggapan ini dipengaruhi oleh panjang gelombang operasi sistem, oleh karena itu untuk dua rentang panjang gelombang yang berbeda, yang mana susutan serat sangat rendah maka harus digunakan detektor cahaya yang berlainan

Detektor yang digunakan dalam penelitian ini adalah fotodiode. Fotodiode adalah komponen penting dalam komunikasi optis yang merubah sinyal optis ke dalam sinyal warta elektrik kemudian dikuatkan dan diproses agar diperoleh sinyal transmisi yang lebih baik. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh fotodiode ini adalah : kepekaan tertinggi pada daerah panjang gelombang sumber cahaya, lebar pita atau laju tanggapan cukup untuk memproses sinyal perubahan warta, derau kecil, dan kepekaan rendah terhadap perubahan suhu. Fotodiode semikonduktor memenuhi semua persyaratan ini. Selain itu fotodiode semikonduktor memiliki ukuran yang kecil dan terpadu sehingga cukup mudah untuk dihubungkan dengan serat optik. Detektor Si mempunyai kepekaan tinggi

pada daerah panjang gelombang 0,8 – 0,9 μm , lebar pita besar (beberapa GHz), arus bocor dan arus gelap kecil, derau kecil dan stabilitas tinggi. Untuk panjang gelombang (1,3 – 1,6) μm dipenuhi oleh detektor Ge atau InGaAsP.

Di dalam fotodiode semikonduktor, proses deteksi dasar terdiri dari pembangkitan pasangan *hole* elektron oleh foton. Proses ini dimulai di sekitar sambungan p-n, terdapat dua ragam deteksi. Pada ragam fotovoltaiik, elektron dihimpun dalam difusi ke satu sisi sambungan dan *hole* ke sisi lain. Ragam ini berkaitan dengan diode tak terpanjar. Tiap jenis pembawa muatan dikonsentrasikan pada sisi sambungan yang berbeda. Hal ini menghasilkan tegangan pada kaki sambungan dan arus akan mengalir bila piranti ini dibebani. Pada ragam kedua, yaitu ragam fotokonduktif, *hole* dipisahkan dari elektron oleh medan elektrik tinggi seperti di dalam lapisan kosong sambungan p-n terpanjar mundur. Arus hanyut pada lapisan kosong mengimbas arus di luar untai. Hubungan antara arus dan tegangan fotodiode diberikan oleh (Van Etten dan Van der Plaats, 1991) :

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{\gamma k\theta}\right) - 1 \right] - I_p \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan I adalah arus gelap (bocor), γ adalah faktor yang menyatakan kualitas sambungan ($\gamma = 1$ untuk sambungan ideal), dan I_p adalah arus foto. Dua keadaan persamaan (2.6) dijelaskan pada gambar (2.2) untuk $I_p = 0$ dan $I_p \neq 0$.

Ketika panjar mundur dikenakan, fotodiode akan menghasilkan ragam fotokonduktif dan pembawa muatan hanyut lebih cepat disebabkan oleh medan elektrik, sehingga fotodiode bereaksi lebih cepat dalam ragam fotokonduktif

daripada dalam ragam fotovoltaik. Efisiensi kuantum yang banyak membutuhkan lapisan kosong yang tebal. Di sisi lain hanyutan harus dikurangi agar tanggapannya lebih cepat, dan ini perlu lapisan kosong yang lebih tipis. Jadi harus ada kompromi antara efisiensi kuantum dan kecepatan tanggapan.

Di dalam lapisan kosong sambungan p-n, tempat cahaya yang diserap terjadi proses dimana tenaga foton yang lebih besar dari sela pita energi semikonduktor sehingga pasangan *hole*-elektron dapat dibangkitkan. Medan elektrik tinggi di daerah ini menyebabkan *hole*-elektron terpisah seperti pada gambar (2.4).

Pembawa muatan yang dibangkitkan di luar lapisan kosong ini (tetapi masih dalam panjang difusi tiap sisi lapisan ini) dapat menyambung arus foto. Dengan menambah tegangan panjar mundur yang mengakibatkan daerah kosong lebih besar dan kapasitansi sambungan berkurang mengakibatkan foton lebih banyak dan kecepatan hanyut bertambah sehingga fotodiode lebih peka.

Jika kuat medan di daerah kosong cukup besar, untuk memberikan tenaga pada pasangan *hole*-elektron untuk menimbulkan tumbukan ionisasi yang akan menciptakan pasangan *hole*-elektron baru yang dapat menyebabkan tumbukan ionisasi sehingga terjadi longsoran pembawa muatan. Selama tegangan fotodiode di bawah tegangan dadal, jumlah pembawa muatan terbatas dan sebanding dengan jumlah pembawa muatan utama yang langsung dibangkitkan oleh foton. Penguatan rata-rata G bergantung pada frekuensi sinyal informasi, dapat ditulis sebagai berikut (Van Etten dan Van der Plaats, 1991) :

$$G(\bar{\omega}) = \frac{G_0}{\sqrt{1 + (\bar{\omega}G_0\tau)^2}} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan τ adalah tetapan waktu yang bergantung pada struktur diode dan G_0 adalah penguatan pada $\tau = 0$.

Untuk fotodiode dua parameter penting yaitu efisiensi kuantum η dan kepekaan R . Efisiensi kuantum adalah jumlah pasangan pembawa muatan utama per foton yang datang. Efisiensi kuantum berkaitan dengan aksi foton yang menembus diode. Dengan asumsi bahwa foton datang dari udara dan menumbuk lapisan p yang tipis (Gambar 2.4). Pada sambungan terdapat rugi Fresnel, $r = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2$ dengan n_1 dan n_2 masing-masing adalah indeks bias udara dan lapisan p. Dengan memberikan lapisan anti pantulan pada lapisan p akan mengurangi pantulan. Fraksi $(1 - r)$ foton yang masuk lapisan p dan beberapa akan diserap. Diambil perumpamaan bahwa jumlah yang diserap sebanding dengan rapat foton local dan koefisien serapan α dengan satuan m^{-1} , maka rapat foton berkurang secara eksponensial terhadap jarak bahan. Bila tebal lapisan p adalah w_p maka fraksi yang datang pada lapisan kosong ini yang membangkitkan pasangan *hole*-elektron adalah $(1 - r)\exp(-\alpha w_p)$. Serapan dalam daerah ini membangkitkan pasangan *hole*-elektron. Jika lebar daerah kosong adalah w_d maka fraksi $[1 - \exp(-\alpha w_d)]$ foton yang menembus daerah isi membangkitkan pasangan *hole*-elektron. Efisiensi kuantum dinyatakan dengan (Van Etten dan Van der Plaats, 1991) :

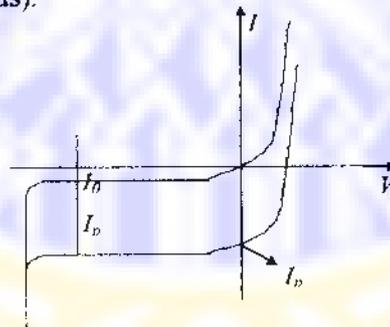
$$\eta = (1 - r)\exp(-\alpha w_p) [1 - \exp(-\alpha w_d)] \dots\dots\dots (2.8)$$

Dari persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa efisiensi kuantum akan menjadi besar jika rugi pantulan Fresnel kecil, lebar lapisan p tipis, dan lebar lapisan kosong tebal.

Daya optis yang datang pada fotodiode adalah P_0 maka tiap satuan waktu adalah $P_0/h\nu$ foton yang datang dengan frekuensi optis ν . Menurut definisi efisiensi kuantum berarti ada $\eta P_0/h\nu$ pasangan pembawa muatan utama yang diciptakan tiap satuan waktu. Jumlah pasangan pembawa muatan sekunder adalah $\eta P_0 G/h\nu$ yang menghasilkan arus $e\eta P_0 G/h\nu$ dengan e adalah muatan elektron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb), maka kepekaan menjadi (Van Etten dan Van der Plaats, 1991) :

$$R = \frac{e\eta G}{h\nu} = \frac{e\eta G}{hc} \lambda \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk fotodiode ideal ($\eta = 1$) tanpa penguatan dakhil ($G = 1$), $R = \lambda_0/1,24 \text{ Aw}^{-1}$ dengan λ_0 dinyatakan dalam μm . Pada Gambar (2.5) ditunjukkan kepekaan untuk jenis fotodiode Si, Ge, dan InGaAsP dihitung dari persamaan (2.9) dengan $\eta = 1$ (yaitu garis putus-putus).



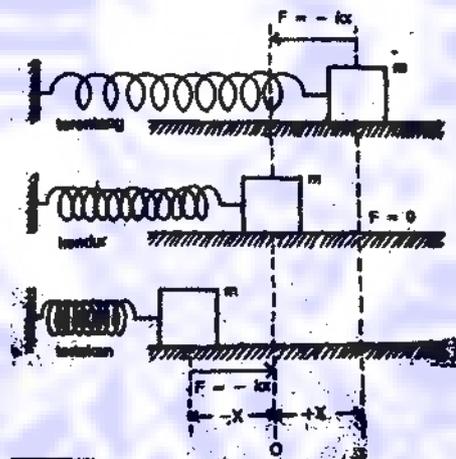
Gambar 2.6 Ciri $I - V$ fotodiode untuk $I_p = 0$ dan $I_p \neq 0$ (Van Etten dan Van der Plaats, 1991)

cosinus, oleh sebab itu gerak periodik disebut gerak harmonik. Jika gerak periodik ini bergerak bolak – balik melalui lintasan yang sama, maka gerak ini disebut sebagai getaran atau osilasi.

Waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu lintasan bolak – balik disebut periode, sedangkan banyaknya getaran tiap satuan waktu disebut frekuensi. Hubungan antara periode dan frekuensi diberikan oleh persamaan (2.10).

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan T dalam detik dan frekuensi dengan satuan Hertz (Hz). Posisi pada saat resultan gaya yang bekerja pada partikel yang bergetar sama dengan nol disebut sebagai posisi setimbang.



Gambar 2.9 Osilasi benda yang dilekatkan pada pegas

Pada gambar 2.5 dapat dilihat sebuah benda yang bermassa m yang dilekatkan pada pegas ideal. Jika benda menyimpang ke kanan, gaya yang dilakukan oleh pegas arahnya ke kiri. Jika benda menyimpang ke kiri, gaya pegas

berarah ke kanan. Kedua gaya tersebut adalah gaya pemulih yang selalu mengembalikan benda pada posisi setimbang yang besarnya sebanding dengan jarak benda terhadap posisi setimbang. Benda yang dipengaruhi oleh gaya yang demikian, dikatakan benda bergerak harmonik sederhana.

Menurut hukum Newton II, pada gerak benda ini berlaku

$$F = m.a \dots\dots\dots (2.11)$$

Gaya pemulih pada gerak benda adalah

$$F = -k.x \dots\dots\dots (2.12)$$

Tanda negatif harus digunakan karena arah \vec{F} dan \vec{x} selalu berlawanan, sehingga secara aljabar diperlukan tanda negatif (-) dalam persamaan matematik ini.

Dari persamaan tersebut didapatkan

$$-k.x = m \frac{d^2 x}{dt^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

atau

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{kx}{m} = 0 \dots\dots\dots (2.14)$$

persamaandisebut persamaan gerak harmonik sederhana.

Untuk mencari persamaan gerak harmonik sederhana dengan jalan mencari penyelesaian dari persamaan, yaitu suatu fungsi x sedemikian rupa sehingga bila diturunkan dua kali terhadap t diperoleh negatif dari fungsi tersebut dikalikan dengan suatu tetapan. Fungsi yang mempunyai sifat demikian adalah fungsi sinus atau fungsi cosinus. Misalkan diambil fungsi cosinus sebagai penyelesaian.

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan A adalah simpangan maksimum atau amplitudo, ω adalah frekuensi sudut, t adalah waktu dan ϕ adalah konstanta fase.

Bila persamaanditurunkan dua kali terhadap waktu (t), maka diperoleh

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (2.16)$$

bila persamaan dimasukkan ke persamaan diperoleh

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \phi) = -\frac{k}{m} A \cos(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (2.17)$$

jadi agar fungsi cos tersebut benar – benar menjadi penyelesaian, maka persamaan haruslah

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \dots\dots\dots (2.18)$$

atau

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (2.19)$$

jika waktu t dalam persamaan ditambah dengan $\frac{2\pi}{\omega}$, maka diperoleh

$$x = A \cos\left[\omega\left(t + 2\frac{\pi}{\omega}\right) + \phi\right] \dots\dots\dots (2.20)$$

lalu

$$x = A \cos(\omega t + 2\pi + \phi) \dots\dots\dots (2.21)$$

lalu

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (2.22)$$

jadi fungsi tersebut berulang kembali setelah selang waktu $\frac{2\pi}{\omega}$. Oleh sebab itu,

$\frac{2\pi}{\omega}$ adalah periode geraknya, atau $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Karena $\omega^2 = \frac{k}{m}$ maka diperoleh

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.23)$$

dan

$$f = \frac{2\pi}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.24)$$

sehingga

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (2.25)$$

Besaran ω disebut frekuensi sudut, karena dapat diartikan sebagai besar sudut (dalam radian) yang dikelilingi per detik. Dari persamaan

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.26)$$

diketahui *Cosinus* A mempunyai harga -1 sampai 1. jadi simpangan x mempunyai harga maksimum A diukur dari posisi setimbang $x = 0$, $A = x_{max}$ disebut amplitudo. Besaran $(\omega t + \phi)$ disebut fase gerak dan ϕ disebut konstanta fase.

Kecepatan dan percepatan gerak harmonik sederhana dicari dengan jalan menurunkan persamaan geraknya terhadap waktu. Simpangan gerak harmonik sederhana

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2.27)$$

Kecepatannya adalah

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (2.28)$$

dan percepatannya adalah

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (2.29)$$

Jika simpangannya maksimum, maka lajunya harus sama dengan nol karena kecepatannya harus berubah arah, sedangkan percepatannya dan gaya pemulihnya mencapai harga maksimum tetapi berlawanan arah dengan arah simpangan.

2.5 Resonansi Pada Loudspeaker

Peristiwa resonansi yang terjadi pada pengeras suara dapat dijelaskan sebagai berikut. Getaran pada *loudspeaker* yang diberi gaya luar dari pembangkit audio merupakan osilasi harmonik teredam yang digetarkan secara paksa. Gaya yang bekerja pada pengeras suara terdiri dari gaya balik $-kh$, gaya redam $b \, dh/dt$ dan gaya luar F_{eks} . Menurut hukum II Newton dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = -kh - b \frac{dh}{dt} + F_{eks} \dots\dots\dots (2.30)$$

dengan ketentuan k = konstanta elastisitas, b = konstanta redam, h = pergeseran, F_{eks} = gaya luar. Gaya luar ditimbulkan arus listrik yang mengalami proses elektromekanik pada *loudspeaker*. Besarnya gaya mekanik yang dihasilkan arus listrik I yang mengalir pada lilitan, $F_{eks} = D I$, dengan D adalah nilai yang tergantung pada sifat fisis bahan yang digunakan. Jika lilitan sebanyak n dengan radius r cm ditempatkan pada medan magnet B gauss pada arah melingkar, besarnya D adalah :

$$D = \frac{2\pi r B}{10} \dots\dots\dots (2.31)$$

Jika arus dalam $I_o e^{j\omega t}$, gaya luar yang bekerja pada osilator adalah :

$$\begin{aligned} F_{eks} &= D \cdot I \\ &= \frac{2\pi r B}{10} \cdot I_o e^{j\omega t} \\ F_{eks} &= F_o e^{j\omega t} \dots\dots\dots (2.32) \end{aligned}$$

dengan ketentuan $F_o = \left(\frac{2\pi r B I_o}{10} \right)$ (Morse M. 1954). Persamaan (2.4) dapat

dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial sebagai berikut :

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} = -kh - b \frac{dh}{dt} + F_o e^{j\omega t} \dots\dots\dots (2.33)$$

dengan ketentuan F_o = gaya luar maksimum, ω = frekuensi sudut gaya luar. Bila persamaan diferensial ini mempunyai penyelesaian dalam bentuk kompleks eksponensial, $h(t) = h_o(\omega) e^{j\omega t}$, maka besarnya amplitudo h_o sebagai fungsi frekuensi sudut ω dapat kita peroleh dari perhitungan matematis sebagai berikut :

$$m \frac{d^2}{dt^2} h_o e^{j(\omega t - \varphi)} + b \frac{d}{dt} h_o e^{j(\omega t - \varphi)} + k h_o e^{j(\omega t - \varphi)} = F_o e^{j\omega t}$$

jika persamaan diferensial di atas dioperasikan dan kedua ruas dibagi dengan $e^{j(\omega t - \varphi)}$, kita dapatkan :

$$-m\omega^2 h_o + i\omega b h_o + k h_o = F_o e^{i\varphi} = F_o (\cos \varphi + i \sin \varphi) \dots\dots\dots (2.34)$$

Bagian real dan imajiner dijadikan dua persamaan, sebagai berikut :

$$h_o (k - m\omega^2) = F_o \cos \varphi$$

$$b\omega h_o = F_o \sin \varphi$$

Dengan mengkuadratkan kedua persamaan kemudian menjumlahkannya dan mengganti nilai $(\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi) = 1$, didapatkan :

$$h_o^2(k - m\omega^2)^2 + b^2\omega^2 h_o^2 = F_o^2$$

Kita dapat menentukan besarnya amplitudo osilasi dalam keadaan mantap (*steady-state*) sebagai fungsi frekuensi pengendali sebagai berikut (Fowles, 1986) :

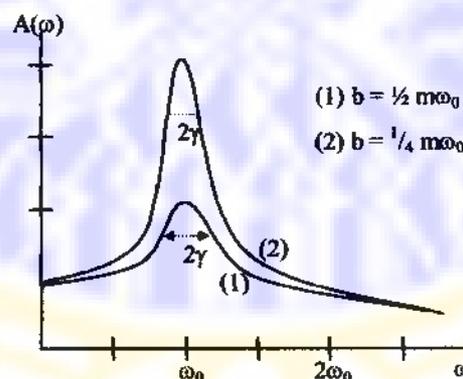
$$h_o(\omega) = \frac{F_o}{\left[(k - m\omega^2)^2 + b^2\omega^2 \right]^{1/2}} \quad (2.35)$$

dengan mengetahui nilai $\omega_o^2 = k/m$ dan $\gamma = b/2m$ persamaan (2.35) dapat ditulis sebagai berikut :

$$h_o(\omega) = \frac{F_o/m}{\left[(\omega_o^2 - \omega^2)^2 + 4\gamma^2\omega^2 \right]^{1/2}} \quad (2.36)$$

Plot $h_o(\omega)$ dan ω ditunjukkan oleh gambar (2.6). Pada keadaan resonansi ($\omega = \omega_o$), amplitudo mencapai nilai maksimum sebesar :

$$h_{omaks} = \frac{F_o}{2\gamma m \omega_o} = \frac{F_o}{b \omega_o} \quad (2.37)$$



Gambar 2.10 Grafik hubungan antara amplitudo fungsi frekuensi untuk dua nilai konstanta redam b (Fowles R, 1986)

2.6 Lempeng Piezoelektrik

Lempeng Piezoelektrik adalah sebuah piranti elektronik yang berbahan dasar keramik. Piezoelektrik sendiri lebih dikenal dengan istilah transduser, karena piezoelektrik mampu mengkonversi atau merubah satu bentuk energi ke dalam bentuk yang lain. Secara spesifik, energi yang dirubah oleh piezoelektrik adalah dari energi listrik ke dalam energi mekanik atau gerak, ataupun sebaliknya dari energi gerak ke energi listrik.

Transduser piezoelektrik ini dipisahkan dalam dua jenis menurut fungsinya. Transduser Piezoelektrik ini, akan disebut sebagai piezo aktuator atau motor (lebih sering disebut linear motor) apabila dia berfungsi merubah energi listrik ke energi gerak atau mekanik, dan dia akan disebut sebagai generator apabila dia difungsikan untuk merubah energi gerak ke energi listrik.

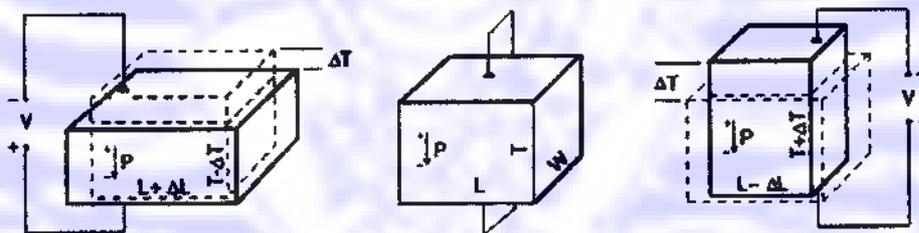
Beberapa penerapan transduser piezoelektrik jenis aktuator adalah dalam bidang *audio production* atau penghasil suara dan lebih kita kenal sebagai speaker. Sedangkan penerapan transduser jenis generator yaitu sebagai sensor gerak, yang mana piezoelektrik ini berfungsi untuk mendeteksi getaran – getaran yang terjadi pada suatu lingkungan dan merubahnya ke dalam sinyal – sinyal elektrik berupa informasi.

Gaya dan jumlah respon yang dihasilkan oleh piezoelektrik bergantung pada beberapa hal, diantaranya adalah spesifikasi bahan keramik yang digunakan untuk membuat piezoelektrik, ukuran dan bentuk piezoelektrik tersebut. Penjelasan yang diberikan disini adalah penjelasan dasar tentang piezoelektrik.

Pada penelitian ini, jenis piezoelektrik yang digunakan adalah jenis motor atau piezo aktuator yang bisa merubah tegangan listrik ke bentuk energi mekanik.

2.6.1 Prinsip Kerja Lempeng Piezoelektrik

Apabila piezoelektrik yang berjenis aktuator dan berbahan dasar keramik ditekan dengan cara mengalirinya dengan tegangan listrik, maka dimensinya akan berubah. Cara kerja dari lempeng piezoelektrik ini sangatlah sederhana, yaitu sebuah kristal piezoelektrik direkatkan pada *holder* yang berfungsi sebagai penyetabil getaran, sehingga arah getaran piezoelektrik akan terkontrol. Kemudian tegangan bolak-balik yang memiliki frekuensi kerja diatas 20 KHz dialirkan pada piezoelektrik tersebut. Struktur atom dari kristal piezoelektrik akan berkontraksi (mengikat), mengembang atau menyusut terhadap polaritas tegangan yang diberikan. Ini disebut dengan efek piezoelektrik.



Gambar 2.11 Prinsip Kerja Piezoelektrik.

Pada posisi tidak ada tegangan yang masuk pada lempeng piezoelektrik, lempeng akan tampak stabil. Tetapi apabila medan elektrik piezoelektrik mempunyai polaritas dan arah yang sama dengan medan polarisasi ditempatkan sejajar dengan arah ketebalan piezoelektrik, maka lempeng tersebut akan berekspansi ke arah ketebalan atau ke arah vertikal atau searah sumbu y. Pada saat

itu pula, lempeng piezoelektrik akan memampat searah sumbu x dan searah sumbu z. Begitu pula sebaliknya.

Persamaan sederhana untuk ekspansi pada arah sumbu y adalah

$$\Delta T = d_{33}V \dots\dots\dots(2.38)$$

dengan ΔT adalah perubahan ketebalan dalam satuan meter, d_{33} adalah konstanta dalam satuan meter per volt yang bergantung pada jenis bahan yang digunakan dan V adalah tegangan input dalam satuan volt. Konstanta d_{33} digunakan apabila arah ekspansi mengarah sejajar dengan arah polarisasi. Dari rumus di atas besar perubahan ketebalan akan dapat dihitung apabila konstanta yang bergantung bahan tadi diketahui. Kemudian untuk arah menyamping yaitu searah sumbu x dan z persamaannya adalah

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta W}{W} = \frac{Vd_{31}}{T} \dots\dots\dots(2.39)$$

dengan L adalah panjang, ΔL adalah perubahan panjang, W adalah lebar, ΔW adalah perubahan lebar dan T adalah ketebalan. Sedangkan d_{31} adalah konstanta yang bergantung bahan, konstanta d_{31} digunakan apabila arah ekspansi tegak lurus 90 derajat dengan arah polarisasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian ini adalah Penelitian Eksperimental.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Eksperimen Fisika Optik dan Aplikasi Laser, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Airlangga Surabaya selama \pm 12 bulan.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat penelitian tersusun seperti pada Gambar 3.1, 3.2 dan 3.3.

1. Laser

Laser gas yang digunakan adalah Laser Helium-Neon (He-Ne) ber merk Melles Griot buatan Carlsbad California, September 1994, nomer seri 95468R. Dengan panjang gelombang 632,8 nm dan daya keluaran maksimumnya sebesar 16 mW. Laser ini digunakan sebagai sumber cahaya untuk melakukan pengukuran amplitudo getaran benda yang bergetar pada frekuensi ultrasonik.

2. Serat Optik

Serat optik yang digunakan adalah serat optik bundel beragam banyak dan berindeks bias undak dengan tipe Autonics FD-620-10. Panjang 1500 mm. Diameter Core 1 mm.

3. Pembangkit Frekuensi

Merupakan pembangkit sinyal yang digunakan sebagai sumber sinyal frekuensi. Generator yang digunakan adalah Generator Frekuensi Tipe LAG – 26 dengan frekuensi keluaran maksimum 200 KHz, buatan Jepang oleh *Leader Electronics Corporation*.

4. Lempeng Piezoelektrik

Lempeng Piezoelektrik merupakan bahan atau piranti yang dipergunakan untuk membangkitkan vibrasi sebagai objek pengukuran sekaligus sebagai Modulator Eksternal. Lempeng Piezoelektrik yang digunakan diambil dari 2 jenis *Tweeter Piezoelektrik* yaitu Tweeter Canon Black Magic tipe Piezo Super Horn Original seri CN-4800 dengan tanggapan frekuensi maksimum sebesar 50 KHz dan Tweeter PCT seri PCT-1800 dengan tanggapan frekuensi maksimum sebesar 40 KHz. Dari tiap jenis tweeter disediakan 3 buah tweeter.

5. Cermin Datar

Berfungsi sebagai pemantul berkas cahaya yang keluar dari serat optik bundel. Cermin ini akan diletakkan tegak lurus dengan sensor serat optik.

6. **Detektor**

Detektor yang digunakan adalah fotodiode (*Laser Beam Receiver*) seri OSK 5586 yang dibuat oleh OGAWA SEIKI CO. LTD.

7. **Osiloskop**

Osiloskop yang digunakan adalah osiloskop yang mempunyai dua tampilan (*dual trace*) merk HITACHI seri V-552 50 MHz.

8. **Kamera Digital**

Kamera Digital ini digunakan untuk merekam gambar diam ataupun gambar bergerak dari hasil penelitian. Kamera Digital yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut. Merk BRICA, Model DigiArt 520, Resolusi Maksimal 5 Mega Pixel.

9. **Memory Card**

Memory Card yang digunakan adalah jenis MMC dengan kapasitas maksimal penyimpanan sebesar 128 Mega Bytes. Merk Memory Card adalah MC Pro. Memory Card ini dipasang pada Kamera Digital sebagai media penyimpanan gambar yang direkam.

10. **Card Reader**

Card Reader yang digunakan adalah Card Reader USB 2.0 All In One yang digunakan untuk membaca informasi yang disimpan di dalam memory card.

11. Rangkaian Penguat

Rangkaian penguat berfungsi sebagai penguat tegangan keluaran dari detektor optik dengan besar penguatan adalah 100 kali. Hasil penguatan tegangan akan dikirimkan ke Osiloskop dan Multimeter Digital.

12. Mikrometer Sekrup

Alat ini digunakan untuk menentukan besarnya pergeseran dengan tingkat ketelitian 0.01 mm. Setelah ditambahkan penghalus, maka ketelitian akan bertambah menjadi 0.007 mm atau 1 μm .

13. Multimeter Digital

Multimeter yang digunakan adalah multimeter dengan tipe UT60A. multimeter ini terdiri dari 4 digit dan satuan terkecil untuk pengukur tegangan adalah mm, dari sini diketahui bahwa multimeter digital ini memiliki ketelitian 0.0005 mV.

14. Kabel-kabel penghubung, statif dan klem.

3.4 Prosedur Penelitian

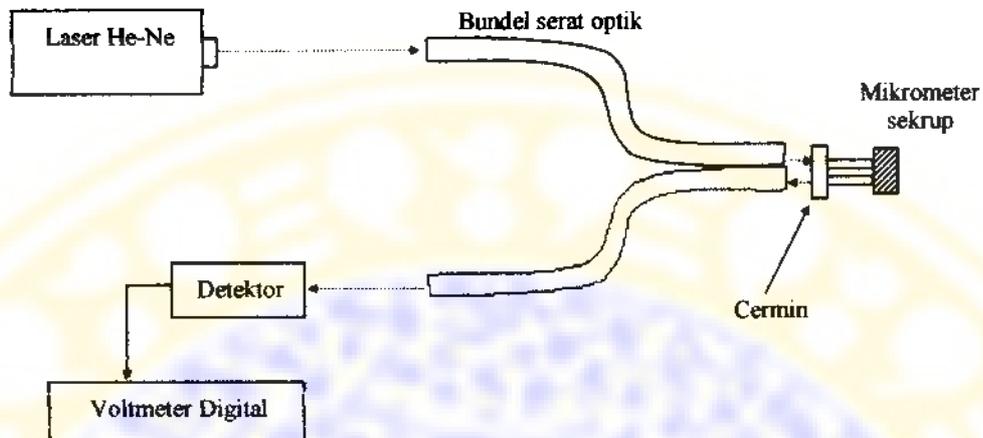
Prosedur penelitian ini dilakukan dengan membagi menjadi enam tahap, yaitu

1. Penentuan daerah linieritas antara intensitas keluaran laser terhadap pergeseran dan posisi sensor terhadap objek.
2. Penentuan hubungan antara pergeseran terhadap intensitas keluaran.

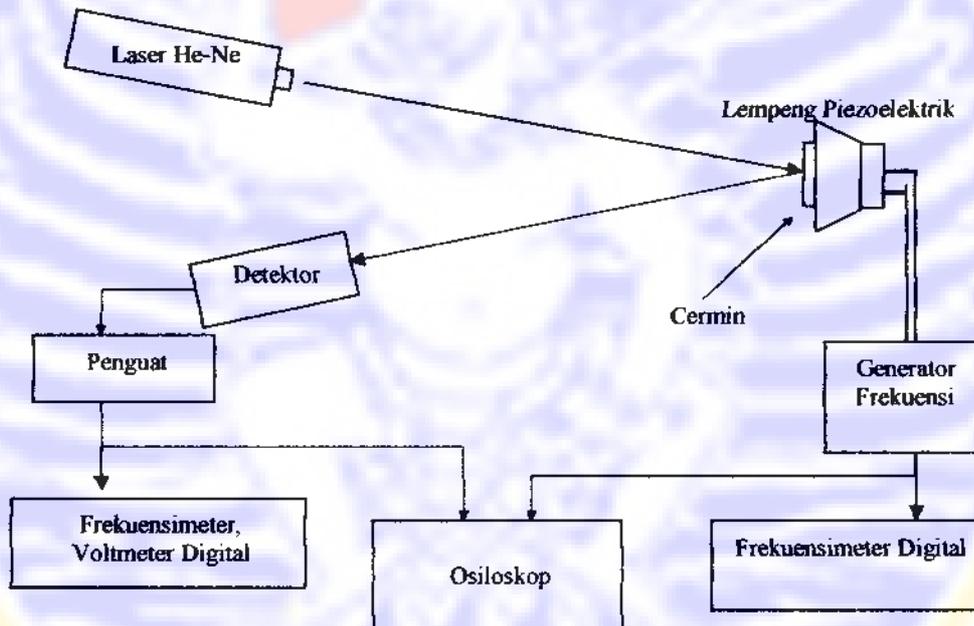
3. **Pengamatan dan pengujian frekuensi vibrasi keluaran bahan terhadap frekuensi masukan pada susunan alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi informasi yang dibawa oleh cahaya laser.**
4. **Pengamatan amplitudo osilasi bahan yang diambil dari set-up yang menggunakan udara sebagai media transmisi informasi yang dibawa oleh cahaya laser.**
5. **Pengamatan dan pengujian data frekuensi vibrasi pada bahan terhadap frekuensi masukan yang diambil dari set-up yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar pembawa informasi.**
6. **Pengamatan amplitudo osilasi bahan yang diambil dari set-up yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar pembawa informasi. Data amplitudo yang di dapat adalah dalam satuan Volt, dan akan dikalibrasi atau dikonversikan ke dalam satuan panjang yaitu mikro meter dengan menggunakan persamaan 3.1.**

3.4.1 Penyiapan Alat

Susunan alat dalam penelitian untuk menentukan daerah linieritas antara intensitas keluaran laser terhadap pergeseran cermin menggunakan mikrometer sekrup dan posisi sensor terhadap objek dapat dilihat pada gambar 3.1. Data yang muncul berupa tegangan dengan satuan mili volt. Dan perubahan intensitas akan diamati setiap terjadi pergeseran cermin sebesar 5 μm , karena perubahan intensitas yang terjadi bergantung pada besar pergeseran yang terjadi.



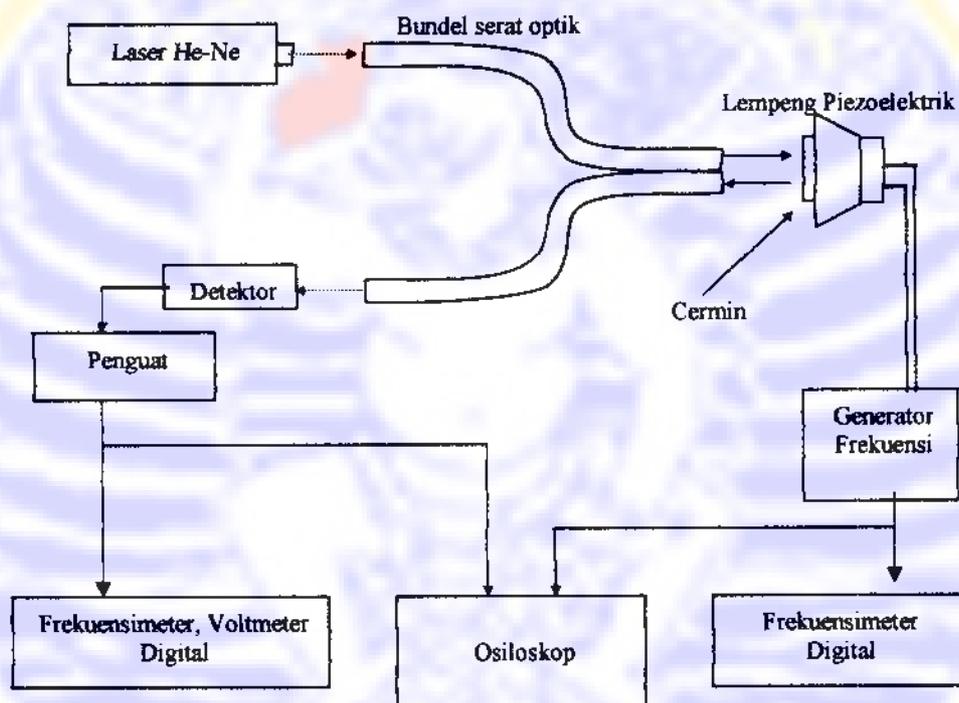
Gambar 3.1. Susunan alat untuk menentukan daerah linieritas antara intensitas keluaran laser terhadap pergeseran



Gambar 3.2. Diagram skematik pengujian frekuensi vibrasi dan pengukuran amplitudo osilasi kecil dengan menggunakan udara sebagai media transmisi sinar.

Gambar 3.2 merupakan susunan alat yang digunakan untuk membuktikan bahwa informasi dapat ditumpangkan pada cahaya laser dengan cara memodulasikan informasi tersebut secara eksternal dan juga mengetahui kemampuan laser untuk

membawa informasi tersebut. Setelah itu alat akan digunakan untuk menguji kesesuaian frekuensi masukan yang dibangkitkan oleh generator, dengan frekuensi output setelah dideteksi oleh detector optik. Cahaya laser sebagai pembawa informasi ditransmisikan dengan media transmisi berupa udara. Selain itu set – up alat ini juga digunakan untuk mengamati besar amplitudo getaran lempeng piezoelektrik dalam bentuk tegangan bolak – balik. Data yang dihasilkan dalam satuan volt.



Gambar 3.3. Diagram skematik pengujian frekuensi vibrasi dan pengukuran amplitudo osilasi kecil yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.

Susunan alat pada gambar 3.3 merupakan set – up alat yang digunakan untuk mengetahui kemampuan serat optik sebagai sensor untuk mendeteksi perubahan frekuensi dan amplitudo yang dihasilkan oleh lempeng piezoelektrik, sekaligus

sebagai media transmisi sinar pembawa informasi. Selain itu set – up alat ini digunakan untuk menentukan kesesuaian antara frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran, serta digunakan juga untuk menghitung amplitudo yang dihasilkan oleh lempeng piezoelektrik, yang mana lempeng tersebut digetarkan pada frekuensi ultrasonik. Data frekuensi yang dikeluarkan adalah dalam satuan KHz, sedangkan data amplitudo yang dikeluarkan adalah berbentuk tegangan dalam satuan volt. Data tersebut akan dikonversikan ke dalam bentuk satuan panjang yaitu mikrometer dengan menggunakan persamaan regresi linear (persamaan 3.1) yang dihasilkan oleh set – up alat pada gambar 3.1.

3.4.2 Pengambilan Data

Pada tahap pertama (Gambar 3.1), laser He-Ne digunakan sebagai sumber cahaya. Selanjutnya cermin di depan serat optik bundel digeser dengan step yang teratur, step diatur dengan pergeseran setiap 5 μm . Langkah ini dilakukan sebanyak yang dibutuhkan. Cahaya laser yang dipantulkan oleh cermin ke serat optik bundel kedua tentunya mengalami perubahan intensitas seiring dengan besar pergeseran, sehingga intensitas keluaran yang diterima oleh detektor memiliki hubungan yang linier terhadap pergeseran. Intensitas ini dibaca dalam skala tegangan. Penentuan hubungan antara pergeseran dengan intensitas keluaran diperoleh dari tahap pertama di atas dengan cara membuat kurva linieritas. Susunan alat penelitian pada tahap pertama ini sesuai dengan gambar 3.1 di atas.

Hubungan antara pergeseran terhadap intensitas keluaran akan menghasilkan kurva yang didapat dari persamaan regresi linier sebagai berikut :

$$I = aZ + b \dots \dots \dots (3.1)$$

dimana I adalah tegangan keluaran pada detektor akibat pergeseran cermin oleh mikrometer sekrup, a adalah nilai kemiringan kurva (*slope*), b adalah konstanta dan Z adalah besarnya pergeseran cermin pada mikrometer. Data intensitas diambil dari voltmeter digital.

Pengujian kesesuaian frekuensi vibrasi pada bahan (*Lempeng Piezoelektrik*) terhadap frekuensi masukan dari Frekuensi Generator dilakukan dengan cara melihat ada tidaknya beda yang signifikan dari kedua frekuensi tersebut. Pengujian kesesuaian frekuensi ini dilakukan pada set-up yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar (gambar 3.2) dan juga pada set-up yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar pembawa informasi (gambar 2.3).

Selain untuk menguji kesesuaian antara frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran, set-up alat yang ditampilkan juga bertujuan untuk menghitung besarnya amplitudo getar bahan sekaligus mengetahui apakah sensor serat optik bisa mendeteksi perubahan frekuensi yang dihasilkan oleh *Lempeng Piezoelektrik*. Apabila hasil perbandingan frekuensi yang dikeluarkan dengan yang diterima oleh detector pada kedua set-up alat tidak terdapat beda yang signifikan, maka metode tersebut dapat digunakan dalam penelitian selanjutnya.

Penentuan besarnya amplitudo osilasi atau getar bahan di lakukan pada kedua sistem baik yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar pembawa informasi (gambar 3.2) ataupun yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar pembawa informasi (gambar 3.3).

Data yang dibutuhkan didapatkan dari pengamatan pada multimeter dan Generator Frekuensi.

Data yang dihasilkan, digunakan untuk membuat grafik hubungan antara amplitudo bahan dengan frekuensi. Data yang dibutuhkan diambil dari osiloskop dan multimeter digital.

Untuk *Lempeng Piezoelektrik* sebagai media vibrasi, frekuensi yang digunakan adalah diatas 20 KHz.

3.5 Metode Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini akan diuji dengan menggunakan uji statistik yaitu :

1. Uji Linieritas

Untuk menentukan konstanta kemiringan kurva (*slope*), digunakanlah uji linieritas. Perhitungan pada uji ini, dilakukan dengan bantuan Program EXCEL Office Xp 2002. Dari uji linieritas ini, akan diperoleh hubungan antara pergeseran yang merupakan amplitudo osilasi dari Lempeng Piezoelektrik dengan tegangan keluaran pada detektor. Setelah data – data yang telah didapat tadi diproses, maka akan didapatkan nilai konstanta kemiringan atau slope, yang nantinya akan digunakan untuk menentukan besarnya amplitudo osilasi dengan menggunakan persamaan (3.1). Dari data itu pula, akan dapat dibuat sebuah grafik hubungan antara amplitudo bahan (Lempeng Piezoelektrik) dengan frekuensi. Uji linieritas ini digunakan untuk menguji gambar 3.1.

2. UJI-T Sampel Berpasangan

Uji ini digunakan untuk menentukan ada atau tidaknya kesesuaian antara frekuensi masukan yang berasal dari Frekuensi Generator dengan frekuensi getar bahan (*Lempeng Piezoelektrik*) yang diterima oleh detector dan terbaca pada multimeter. Pengujian ini akan menggunakan jasa program SPSS untuk mengolah data - data yang ada. Tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95% ($\alpha = 0,05$), apabila nilai (p-value) lebih besar daripada nilai α maka dikatakan tidak ada beda signifikan antara frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran. Sehingga dapat disimpulkan nantinya bahwa metode yang telah direncanakan ini bisa digunakan untuk melakukan langkah penelitian selanjutnya, yaitu pengukuran amplitudo osilasi bahan.

Langkah selanjutnya, data yang didapat dari hasil pengukuran pada gambar 3.2 dan gambar 3.3, digunakan untuk mengetahui besar amplitudo yang dihasilkan oleh Lempeng Piezoelektrik. Setelah itu, dari data itu juga nantinya akan dapat dibuat sebuah grafik hubungan antara amplitudo bahan (*Lempeng Piezoelektrik*) dengan frekuensi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian pengukuran amplitudo osilasi dengan menggunakan udara sebagai medium transmisi sinar pembawa informasi dan juga menggunakan sensor serat optik sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi ini telah dilakukan sesuai dengan tahapan kerja seperti yang diuraikan dalam metode penelitian. Adapun langkah kerja yang pertama adalah menentukan hubungan antara intensitas (I) terhadap pergeseran (Z) dengan mengeset alat seperti pada Gambar 3.1.

Setelah mendapatkan nilai intensitas terhadap pergeseran, langkah kerja yang kedua di dalam penelitian ini adalah melakukan uji linieritas dengan menggunakan metode regresi linear dengan pendekatan fungsi linear: $y = ax + b$ dimana $y = I$ dan $x = Z$. Persamaan regresi linear yang dihasilkan adalah $y = 0.0041x - 0.1323$. Persamaan ini akan digunakan untuk mengkonversi amplitudo lempeng piezoelektrik yang semula berbentuk tegangan dalam satuan volt ke dalam bentuk satuan panjang yaitu mikro meter. Data hasil penelitian ini bisa dilihat pada lampiran I. Pada tahap ini pula dapat diketahui jarak maksimal antara lempeng piezoelektrik dengan serat optik yang menghasilkan intensitas maksimal yaitu pada jarak $1400 \mu\text{m}$ atau $1,4 \text{ mm}$.

Langkah kerja yang ketiga adalah pengamatan dan pengujian frekuensi vibrasi pada bahan terhadap frekuensi masukan yang diambil dari set-up alat

dengan menggunakan udara sebagai media transmisi sinar. Data yang didapatkan dari langkah kerja ini diuji dengan UJI-T sample berpasangan dengan bantuan program SPSS versi 11.5 dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95 % ($\alpha = 0,05$). Dari hasil UJI-T ini di dapatkan nilai signifikansi atau p-value :

- Piezo 1 seri CN-4800 : 0.030
- Piezo 2 seri CN-4800 : 0.401
- Piezo 3 seri CN-4800 : 0.034
- Piezo 1 seri PCT-1800 : 0.303
- Piezo 2 seri PCT-1800 : 0.052
- Piezo 3 seri PCT-1800 : 0.248

Langkah kerja yang ke empat adalah pengamatan data amplitudo osilasi bahan yang diambil dari set-up dengan menggunakan udara sebagai media transmisi. Dari data yang telah di dapat dibuat grafik hubungan antara amplitudo dengan frekuensi, dan dari data itu pula bisa diketahui bahwa amplitudo terbesar yang di hasilkan oleh

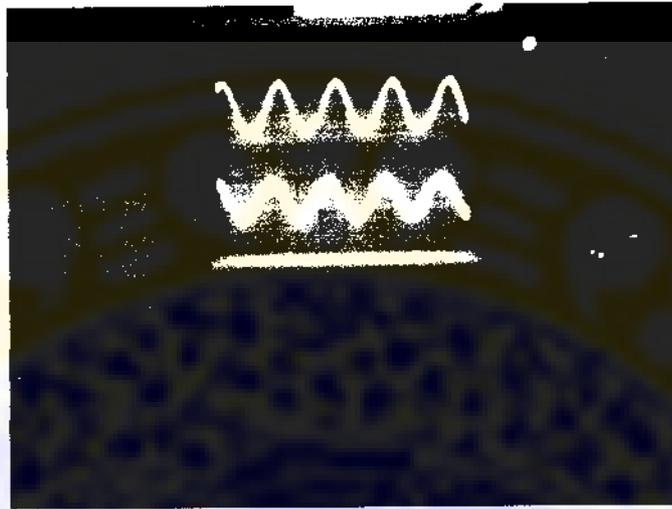
- Piezoelektrik I seri CN-4800 adalah sebesar 1,275 Volt
- Piezoelektrik II seri CN-4800 adalah sebesar 2,354 Volt
- Piezoelektrik III seri CN-4800 adalah sebesar 2,612 Volt
- Piezoelektrik I seri PCT-1800 adalah sebesar 2,730 Volt
- Piezoelektrik II seri PCT-1800 adalah sebesar 2,722 Volt
- Piezoelektrik III seri PCT-1800 adalah sebesar 2,664 Volt

Dan dari semua bahan, didapatkan amplitudo terkecil yaitu sebesar 0,007 Volt.

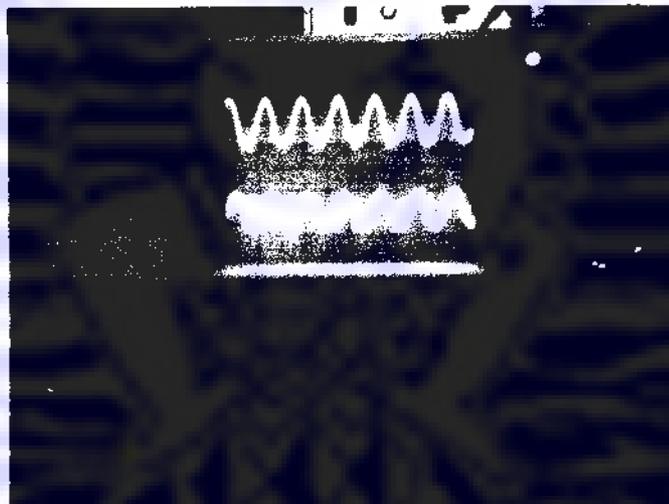
Setelah itu dilakukan langkah yang kelima yaitu pengamatan dan pengujian data frekuensi vibrasi pada bahan terhadap frekuensi masukan yang diambil dari set-up dengan menggunakan sensor serat optik. Tetapi sayangnya, pada langkah yang kelima ini tidak didapatkan data. Hal ini ditunjukkan oleh besar frekuensi yang diterima oleh detektor dan di baca oleh frekuensimeter, selalu berubah – ubah atau berfluktuatif. Begitu pula yang terjadi pada osiloskop, pola intensitas ditunjukkan oleh osiloskop tidak stabil dan kurang sempurna bahkan cenderung tidak bagus.. Pada langkah yang kelima ini hanya di dapatkan rekaman gambar diam yang menunjukkan bentuk gelombang sinus yang ditampilkan oleh osiloskop.

Oleh karena langkah ke lima tidak berhasil dilakukan dengan baik, maka langkah yang ke enam untuk pengamatan amplitudo osilasi dengan menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar pembawa informasi pun secara otomatis juga tidak bisa dilakukan. Hal ini ditunjukkan oleh frekuensimeter yang menunjukkan angka nol dan terkadang menunjukkan frekuensi yang berfluktuatif, tapi hanya beberapa saat, kemudian menghilang lagi, ini berarti tidak ada amplitudo yang bisa dibaca oleh frekuensimeter dan voltmeter.

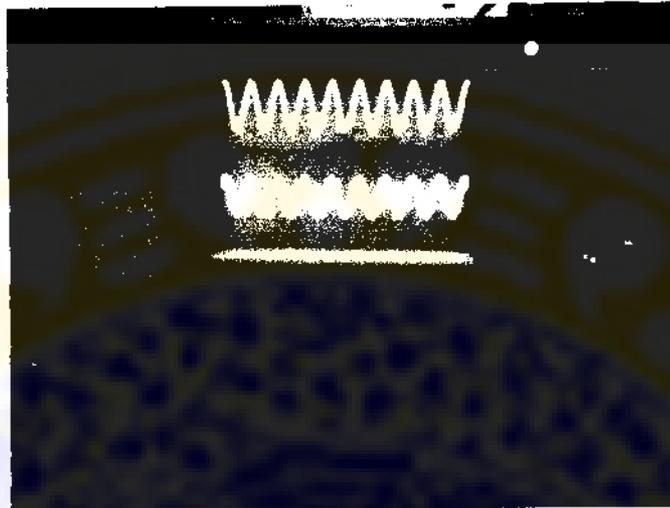
Beberapa foto hasil penelitian ditunjukkan pada gambar 4.1 sampai gambar 4.11. Gambar yang ditampilkan merupakan hasil perekaman yang dilakukan pada sistem yang menggunakan Lempeng Piezoelektrik 1 Type CN-4800 dan Lempeng Piezoelektrik 1 Type PCT-1800.



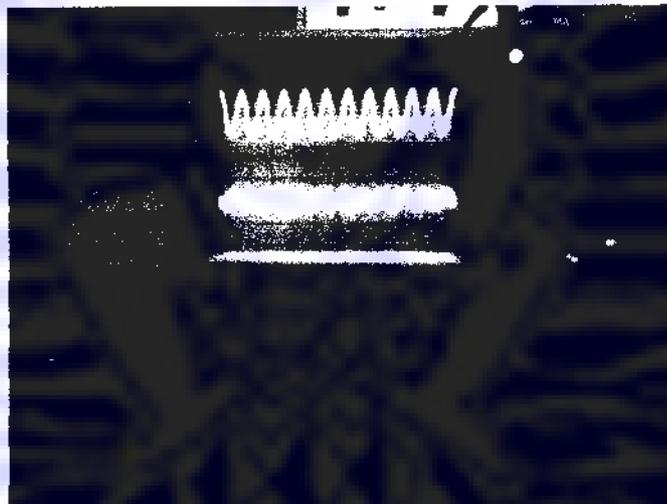
Gambar 4.1 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800 pada frekuensi 20,01 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar.



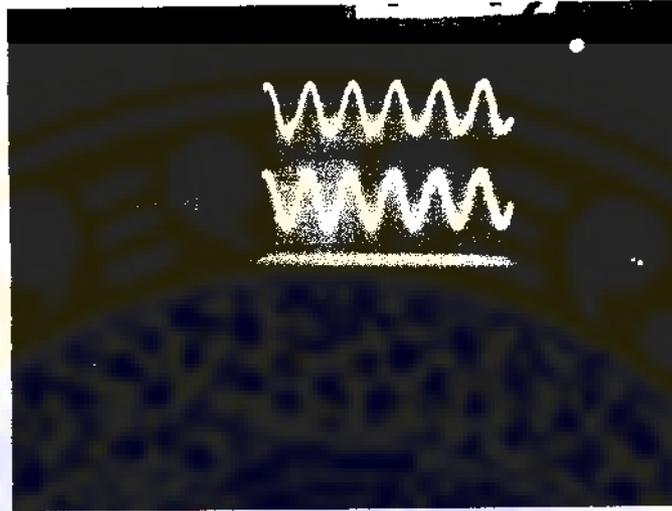
Gambar 4.2 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800 pada frekuensi 30,51 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar.



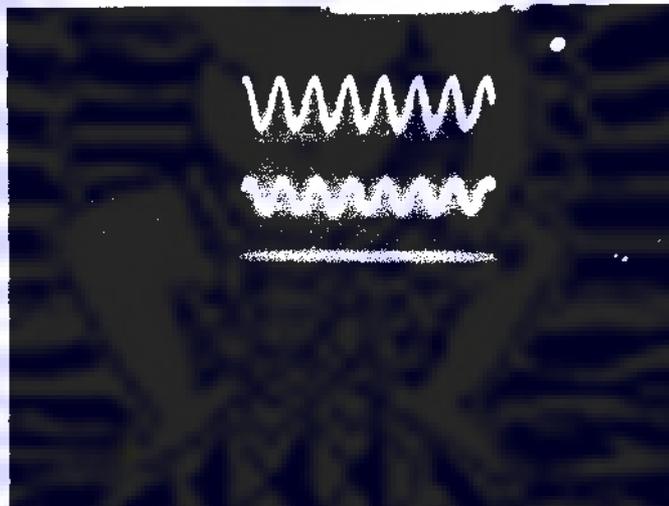
Gambar 4.3 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800 pada frekuensi 41,07 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar.



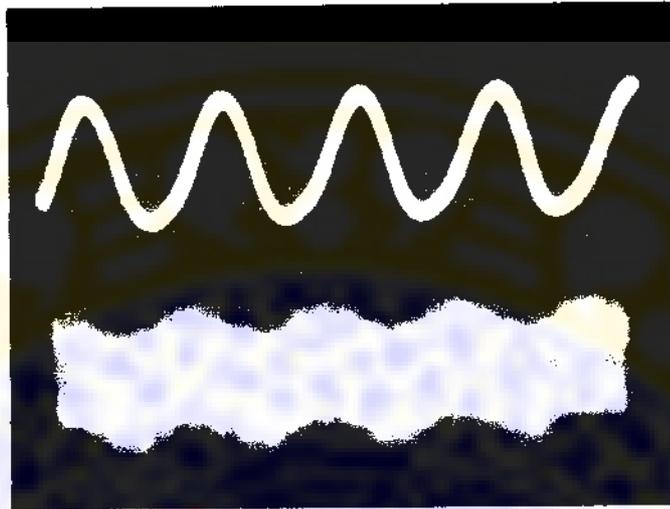
Gambar 4.4 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800 pada frekuensi 50,04 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar.



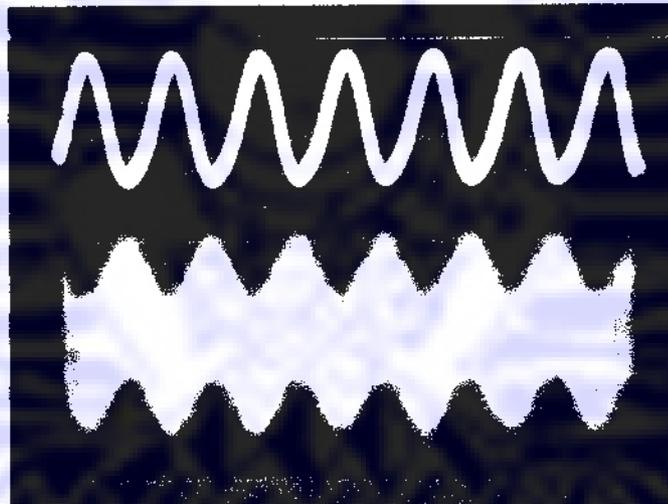
Gambar 4.5 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800 pada frekuensi 26,01 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar.



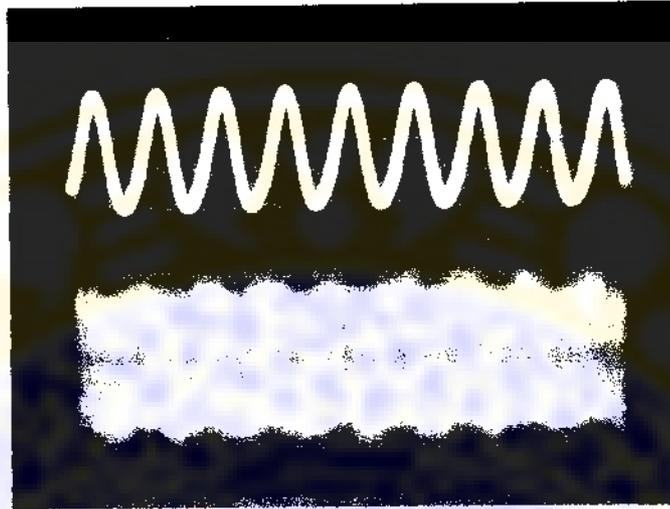
Gambar 4.6 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800 pada frekuensi 33,03 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar.



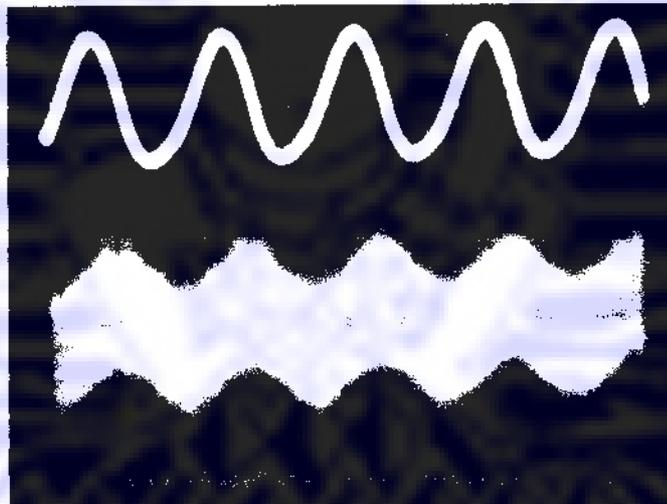
Gambar 4.7 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800 pada frekuensi 20,43 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.



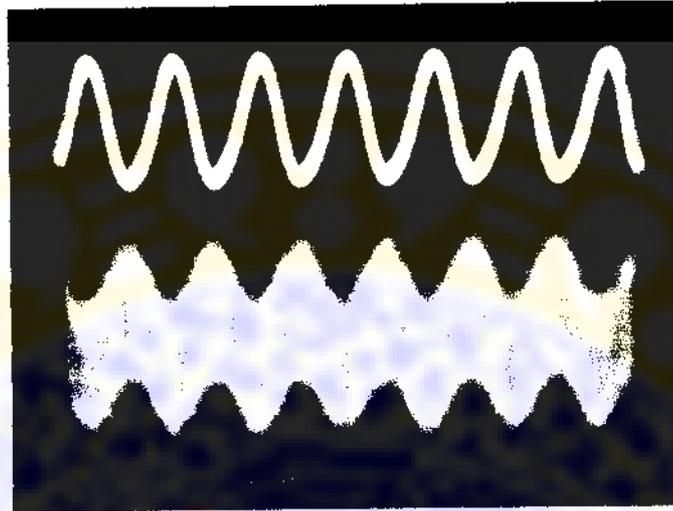
Gambar 4.8 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800 pada frekuensi 31,50 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.



Gambar 4.9 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800 pada frekuensi 40,68 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.



Gambar 4.10 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800 pada frekuensi 21,42 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.

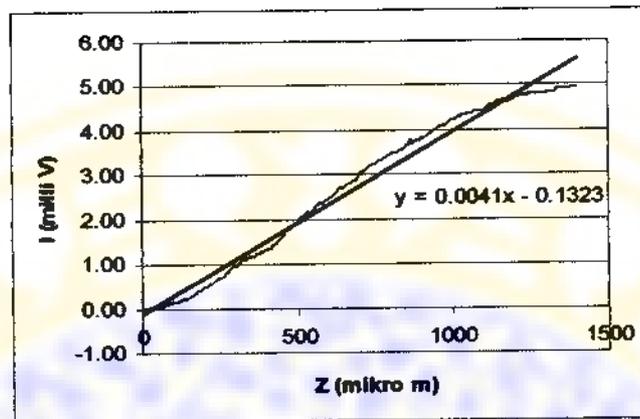


Gambar 4.11 Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800 pada frekuensi 31,50 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.

4.2 Pembahasan

Pada bagian ini akan dibahas proses kerja dan hasil yang di dapatkan dari penelitian yang telah dilakukan serta kendala – kendala yang timbul pada penelitian ini.

Langkah pertama, yaitu tahap yang bertujuan untuk menentukan daerah linieritas antara intensitas keluaran laser pointer terhadap pergeseran, data yang diperoleh diambil dari set – up alat seperti ditunjukkan oleh gambar 3.1. Dari proses pengolahan tersebut di dapatkan grafik seperti terlihat pada gambar 4.12.



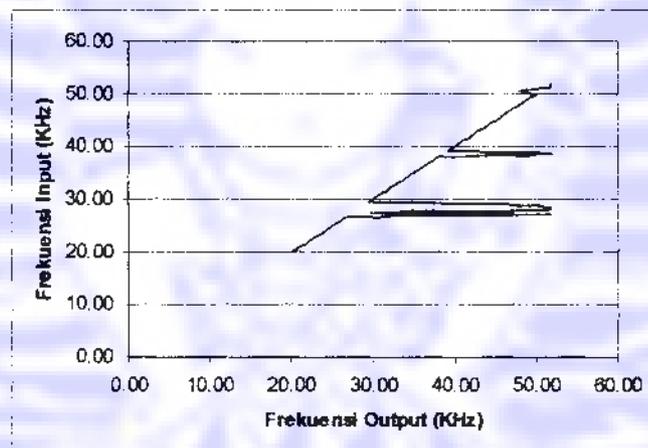
Gambar 4.12. Grafik tegangan keluaran (mV) terhadap pergeseran (μm)

Dari pengolahan data yang telah dilakukan, pada pergeseran 0 – 1400 μm didapatkan fungsi linear $y = 0,0041 x + 0,1323$ dengan koefisien regresi linear $R = 0,990$. Sehingga besar konstanta kemiringan atau slope bisa diketahui yaitu sebesar 0,0041. Grafik diatas didapat dengan bantuan program MS EXCEL Xp 2002 dan hasil perhitungan dari data yang ada dilakukan dengan bantuan program SPSS ver 11.5. Hasil pengolahan data dengan regresi linear ini, akan digunakan untuk menentukan besar amplitudo osilasi bahan pada penelitian selanjutnya yaitu penelitian dengan menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar.

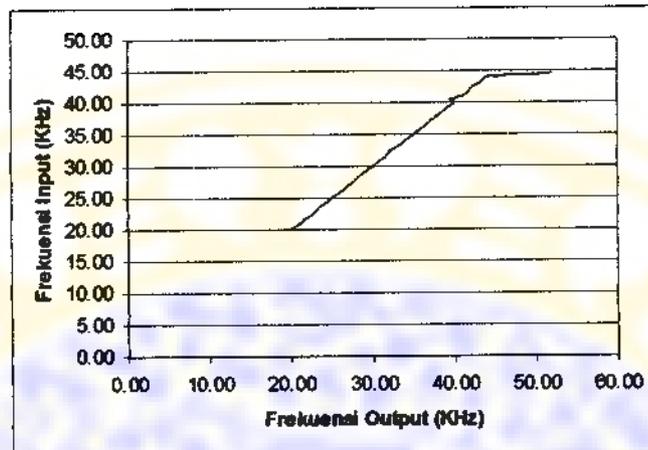
Langkah kedua telah selesai dikerjakan seiring selesainya penghitungan pada langkah pertama, yaitu pembuatan grafik hubungan antara besar pergeseran dengan intensitas keluaran detektor yang di baca oleh voltmeter. Grafik tersebut bisa dilihat pada gambar 4.12.

Langkah kerja selanjutnya atau langkah kerja ketiga yaitu pengamatan dan pengujian data frekuensi vibrasi pada bahan terhadap frekuensi masukan. Data

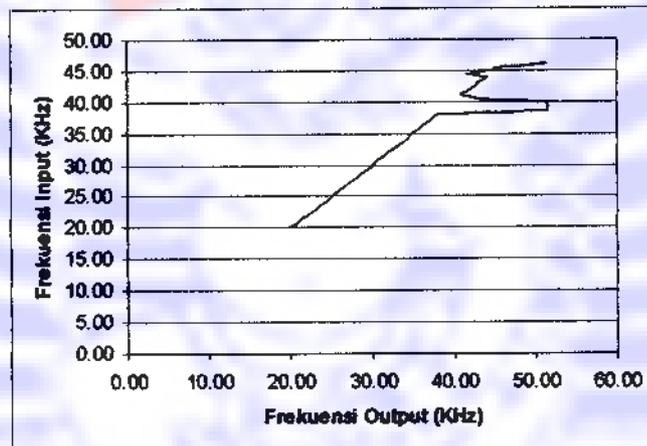
diambil dari set-up alat tanpa menggunakan sensor serat optik. Eksperimen pada langkah ke tiga ini bertujuan untuk membuktikan bahwa proses modulasi eksternal atau penumpangan data secara eksternal dengan menggunakan lempeng piezoelektrik pada sinar laser bisa dilakukan. Data yang diperoleh diolah menggunakan Uji-T sampel berpasangan (*Paired Sample T-Test*) untuk menentukan adanya kesesuaian antara frekuensi masukan terhadap frekuensi keluaran Lempeng Piezoelektrik setelah ditumpangkan pada sinar laser. Dan pengolahan ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program SPSS versi 11.5, sedangkan pembuatan grafik hubungan antara frekuensi keluaran dengan frekuensi masukan dibuat dengan bantuan program Microsoft Excel Office Xp 2002. Grafik tersebut bisa dilihat pada gambar 4.13 sampai 4.19.



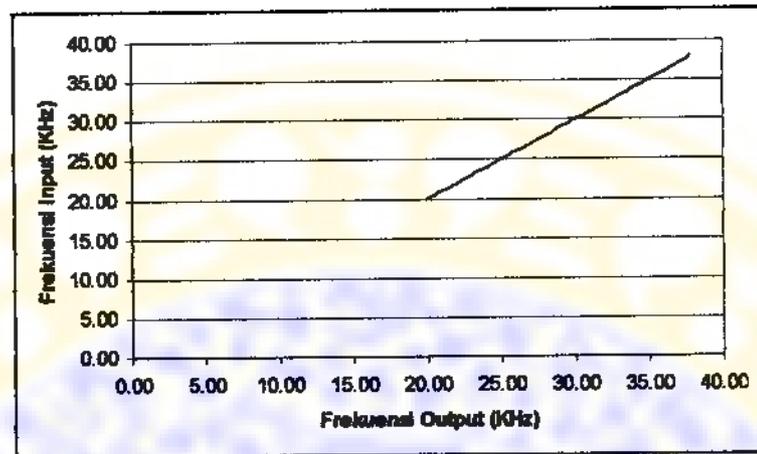
Gambar 4.13 Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo I seri CN-4800.



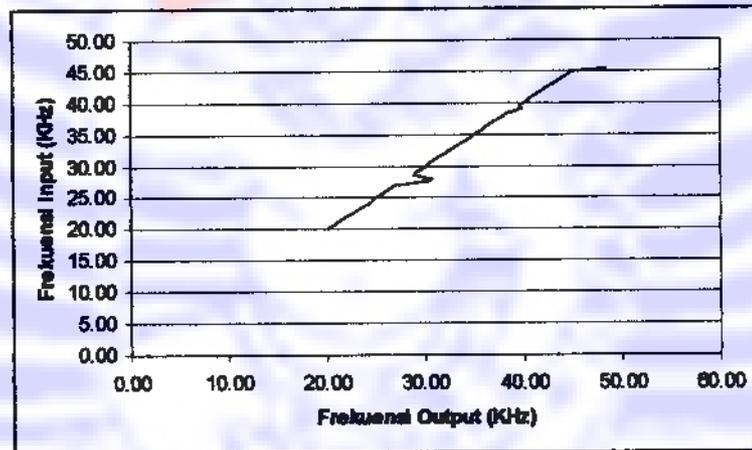
Gambar 4.14 Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo II seri CN-4800.



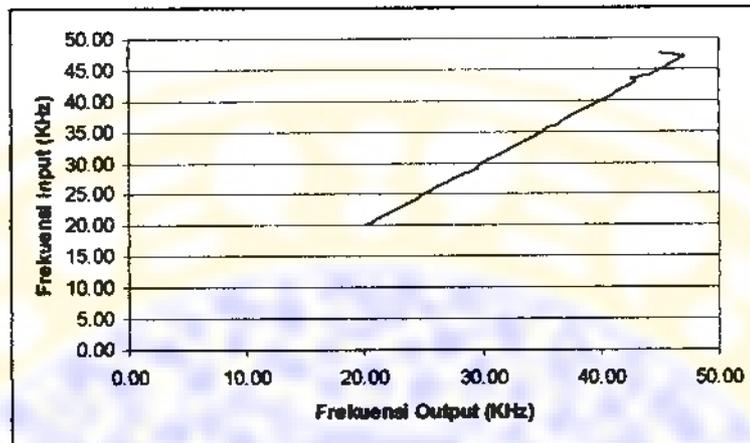
Gambar 4.15 Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo III seri CN-4800.



Gambar 4.16 Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo I seri PCT-1800.



Gambar 4.17 Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo II seri PCT-1800.



Gambar 4.18 Grafik hubungan frekuensi masukan dengan frekuensi keluaran pada Piezo III seri PCT-1800.

Data frekuensi keluaran dan masukan dari berbagai bahan tadi di uji dengan menggunakan UJI-T sample berpasangan dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Apabila nilai signifikansi (*p-value*) lebih besar dari α , maka dikatakan tidak ada beda signifikan. Hasilnya, pada tiap bahan mempunyai nilai signifikansi (*p-value*) yang berbeda - beda seperti yang telah ditunjukkan pada hasil penelitian di awal tadi.

Perbedaan nilai signifikan tersebut menunjukkan bahwa tiap bahan mempunyai karakteristik yang berbeda - beda, walaupun dari jenis yang sama. Pada Lempeng Piezoelektrik 1, nilai signifikansi yang di dapat sebesar 0,030 dan pada Lempeng Piezoelektrik 3, nilai signifikansi yang di dapat sebesar 0,034, ini lebih kecil dari nilai α . Hal ini menunjukkan bahwa ada beda yang cukup besar antara frekuensi masukan dan frekuensi keluaran. Pada awalnya proses pengambilan data berjalan dengan lancar sesuai dengan yang diharapkan, tetapi pada saat layar monitor frekuensimeter menunjukkan frekuensi masukan sebesar

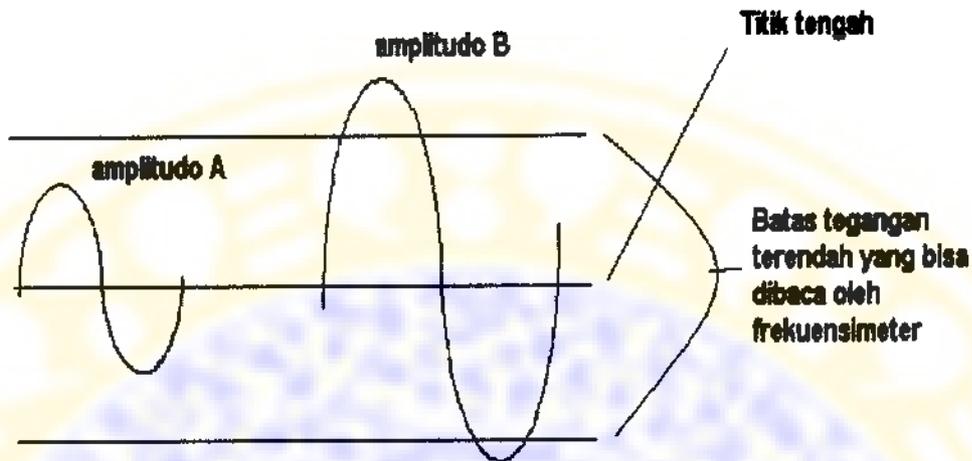
27,02 KHz sampai 29,02 KHz, frekuensi keluaran yang ditangkap oleh detektor, muncul tidak sesuai dengan yang diharapkan, disitu terjadi penyimpangan yang cukup besar. Hal ini berkaitan erat dengan kemampuan dan stabilitas alat, khususnya pada frekuensimeter. Frekuensimeter tidak bisa membaca frekuensi yang mempunyai amplitudo terlalu kecil. Begitu pula pada frekuensi selanjutnya. Data selengkapnya bisa dilihat pada lampiran 2. Inilah yang menyebabkan nilai signifikansi menjadi dibawah nilai α . Selain pada Lempeng Piezoelektrik seri CN-4800, hal ini juga terjadi pada Lempeng Piezoelektrik seri PCT-1800. Kenyataan itu menunjukkan bahwa pada frekuensi dengan amplitudo tertentu yaitu yang berada dibawah ambang batas tegangan yang bisa dibaca oleh frekuensimeter, maka data tersebut tidak akan bisa dideteksi dan dibaca oleh frekuensimeter.

Perbedaan frekuensi masukan dengan keluaran pada range frekuensi yang telah dijelaskan tadi, disebabkan oleh beberapa hal. Diantaranya

1. Besar amplitudo yang dihasilkan oleh Lempeng Piezoelektrik dan dipresentasikan dalam satuan volt, amatlah kecil ketika mencapai range frekuensi tertentu, sehingga detector, frekuensi meter dan voltmeter tidak dapat mendeteksi besar perubahan amplitudo tersebut. Hal ini disebabkan oleh karena amplitudo yang diterima berada di bawah kapasitas ambang yang dimiliki oleh tiap – tiap instrumen.
2. Kemampuan detektor untuk menangkap, mengolah dan menterjemahkan intensitas sinar yang ditangkap dalam bentuk signal listrik, terkadang mengalami penurunan, sehingga hal ini menyebabkan tidak stabilnya pengiriman signal berupa tegangan listrik ke instrumen penguat. Hal ini

tentunya sangat mempengaruhi proses pengukuran. Beberapa hal yang mempengaruhi penurunan kestabilan detektor antara lain adalah catu daya yang berasal dari baterai menurun atau energi yang ada di dalam baterai habis. Kemudian pengaruh suhu ruangan yang juga mempengaruhi kestabilan komponen elektronika yang ada di dalam satuan peralatan detektor.

3. Selain proses penterjemahan tadi, besar tegangan yang dikirimkan oleh detektor kepada penguat sangatlah kecil, ini disebabkan karena intensitas yang ditangkap oleh detector sebelumnya juga sangat kecil, sehingga walaupun sudah dikuatkan, nilai tegangan yang dikirimkan, masih belum mampu dibaca frekuensimeter karena tegangan tersebut berada di bawah titik kerja atau titik tegangan ambang yang mampu dibaca oleh frekuensimeter. Ini bisa dibuktikan dengan adanya pola intensitas yang berhasil dibaca oleh osiloskop, walaupun data tadi tidak terbaca oleh frekuensimeter. Dalam hal ini, osiloskop masih mampu untuk membaca dan menampilkan pola intensitasnya, hal ini disebabkan karena osiloskop memiliki titik kerja tegangan ambang atau tegangan terendah yang bisa dideteksi lebih rendah dari pada frekuensimeter, sehingga sekecil apapun tegangan yang di terima asal masih lebih besar atau sama dengan batas ambang, masih mampu dibaca.

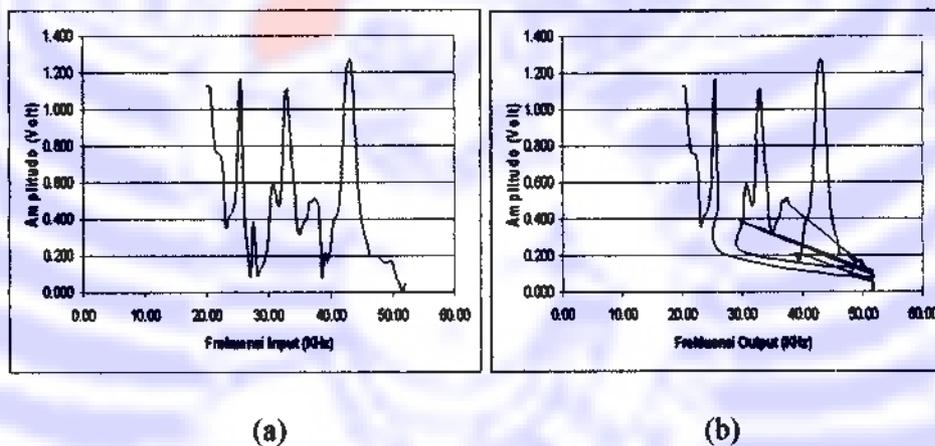


Gambar 4.19 Batas tegangan terendah yang bisa dibaca oleh frekuensimeter.

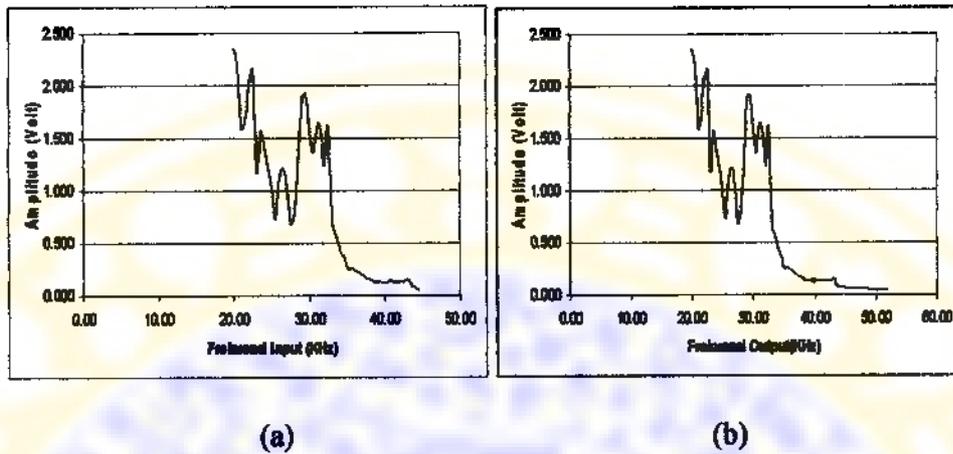
Misalkan ada pengukuran A dan B yang menghasilkan amplitudo A dan B, yang mana amplitudo A berada dibawah batas tegangan terendah yang bisa dibaca oleh frekuensimeter, maka besar tegangan atau amplitudo pada pengukuran A tersebut tidak akan terbaca, frekuensinya pun dianggap 0. Sedangkan pada Amplitudo B bisa terbaca, karena amplitudonya masih berada diatas batas minimal tegangan yang bisa dibaca oleh frekuensimeter.

4. Kestabilan frekuensimeter pun juga menjadi salah satu penyebab dari penyimpangan data ini. Apabila frekuensimeter dalam keadaan stabil, mungkin amplitudo serendah apapun masih mampu untuk dibaca asalkan masih diatas batas ambang. Tetapi apabila kemampuan frekuensimeter dalam keadaan menurun, maka amplitudo yang seharusnya bisa terbaca pun jadi tidak terbaca. Oleh karena itu kestabilan instrumen penelitian juga menjadi salah satu bahan pertimbangan.

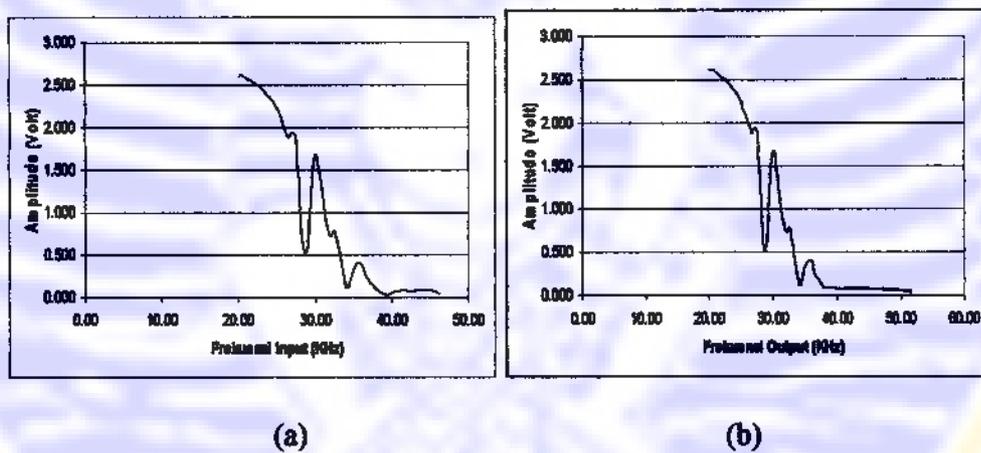
Selanjutnya langkah yang ke empat adalah pengamatan data amplitudo osilasi bahan yang diambil dari set-up tanpa menggunakan sensor serat optik. Data yang didapatkan adalah dalam bentuk tegangan bolak – balik atau AC.. Hasil perhitungan amplitudo untuk masing-masing bahan (Lempeng Piezoelektrik seri CN-4800 dan seri PCT-1800) dan besarnya frekuensi keluaran bisa dilihat pada lampiran 2. Hubungan antara amplitudo getar dengan frekuensi masukan dan amplitudo getar dengan frekuensi keluaran untuk masing-masing bahan dapat dilihat pada gambar 4.20 sampai 4.25



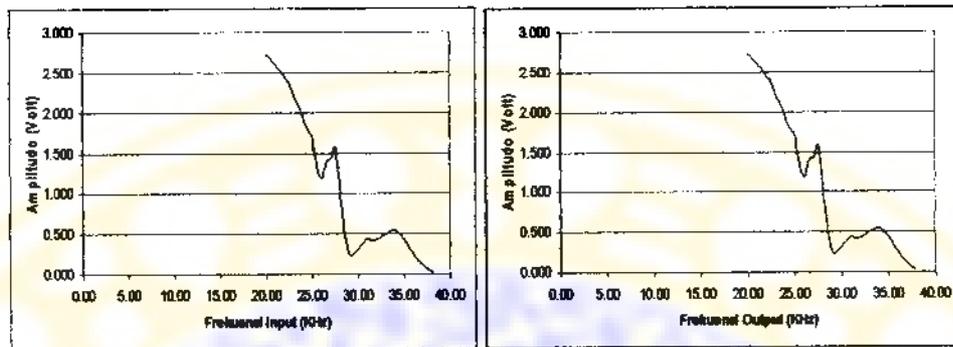
Gambar 4.20 (a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800,
(b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik I seri CN-4800.



Gambar 4.21 (a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik II seri CN-4800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik II seri CN-4800.



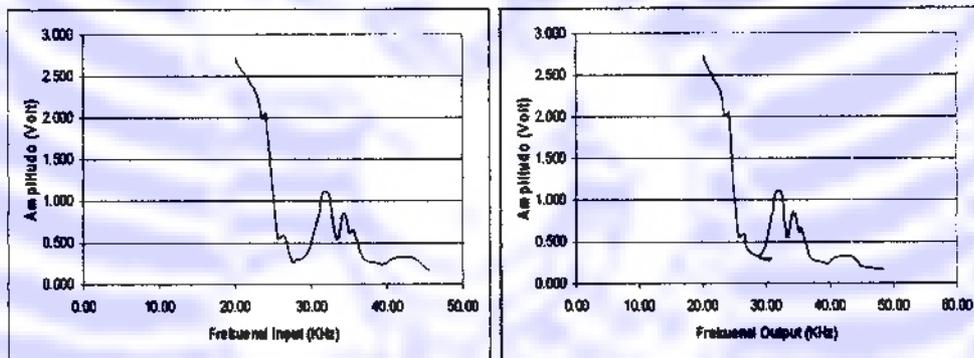
Gambar 4.22 (a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik III seri CN-4800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik III seri CN-4800.



(a)

(b)

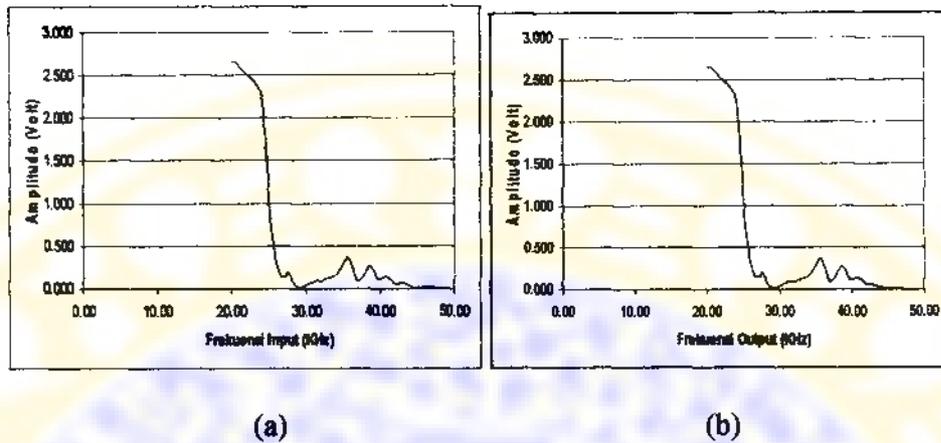
Gambar 4.23 (a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik I seri PCT-1800.



(a)

(b)

Gambar 4.24 (a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik II seri PCT-1800, (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik II seri PCT-1800



Gambar 4.25 (a) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi input pada Lempeng Piezoelektrik III seri PCT-1800,
 (b) Grafik hubungan amplitudo dengan frekuensi output pada Lempeng Piezoelektrik III seri PCT-1800

Kurva gambar 4.20 hingga gambar 4.25 menunjukkan kurva karakteristik dari masing – masing Lempeng Piezoelektrik. Dari kurva – kurva yang telah ditampilkan, menunjukkan kecenderungan semakin besar frekuensi yang diberikan pada Lempeng Piezoelektrik, maka semakin kecil amplitudo yang dihasilkan. Tetapi diantara itu, ada keadaan dimana pada frekuensi – frekuensi tertentu amplitudo menjadi membesar, hal ini disebabkan oleh terjadinya interferensi dan superposisi pada amplitudo – amplitudo yang dikeluarkan oleh lempeng piezoelektrik tersebut.

Selain itu, amplitudo getar yang terbaca untuk masing-masing bahan, akan mencapai nilai maksimum pada saat terjadi resonansi antara frekuensi masukan dan frekuensi keluaran pada masing-masing bahan. Pada keadaan ini, frekuensi tersebut disebut sebagai frekuensi resonansi. Besarnya amplitudo saat frekuensi resonansi pada masing-masing bahan dapat ditentukan. Untuk Lempeng

Piezoelektrik 1 seri CN-4800, amplitudo yang terbaca pada saat frekuensi resonansi adalah 1.275 Volt, untuk lempeng ke 2 sebesar 2.354 Volt dan untuk lempeng ke 3 sebesar 2.612 Volt. Sedangkan untuk Lempeng Piezoelektrik 1 seri PCT-1800, amplitudo yang terbaca pada saat frekuensi resonansi adalah 2.730 Volt, untuk lempeng ke 2 sebesar 2.722 Volt, dan untuk lempeng ke 3 sebesar 2.664 Volt. Adanya perbedaan amplitudo maksimum tersebut serta frekuensi resonansinya disebabkan karena ketiga bahan tersebut memiliki karakteristik yang berbeda. Amplitudo getar terkecil yang didapatkan dari semua jenis piezoelektrik pada penelitian ini adalah sebesar 0.007 Volt. Hal ini membuktikan bahwa penelitian ini dapat digunakan untuk mengukur besarnya amplitudo osilasi dalam orde mikrometer.

Langkah selanjutnya yaitu langkah yang ke lima adalah pengamatan dan pengujian data frekuensi vibrasi pada bahan terhadap frekuensi masukan yang diambil dari set-up dengan menggunakan sensor serat optik. Pada penelitian dengan menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus sebagai medium penghantar informasi yang di bawa oleh sinar laser ini, tidak berhasil didapatkan data. Hal ini ditunjukkan oleh data yang didapat selalu berfluktuatif atau berubah – ubah setiap saat. Pola intensitas yang berfluktuatif ini dapat dilihat pada tampilan osiloskop, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.7 sampai 4.11.

Data yang ditampilkan oleh frekuensi meter tidaklah stabil atau berubah – ubah dengan sangat cepat, seolah menunjukkan bahwa ada banyak frekuensi yang ditangkap pada saat itu, dan datangnya silih berganti. Masalah ini timbul baik pada saat penelitian dilakukan di dalam ruang gelap tanpa cahaya ataupun ruang

terang, sehingga bisa diketahui bahwa frekuensi dari cahaya lampu tidak berpengaruh besar pada penelitian ini.

Kendala ini, tidak hanya terjadi pada sistem atau set-up alat yang menggunakan serat optik penerima sepanjang 150 cm atau 1,2 m, melainkan juga terjadi pada sistem yang menggunakan serat optik penerima dengan panjang 7 cm dan 10 cm. Dari sini tentunya kita bisa mengatakan bahwa ada sesuatu yang menyebabkan semua ini terjadi. Beberapa sebab atau hal yang sangat memungkinkan menjadi pengaruh besar di dalam penelitian ini antara lain adalah

1. Amplitudo yang dihasilkan oleh piezoelektrik terlalu kecil, sehingga ketika dideteksi oleh laser dan dikirimkan ke dalam bentuk pola intensitas, tidak dapat mengatasi rugi – rugi yang terjadi secara eksternal ataupun internal pada serat. Kita pasti tahu, akibat adanya rugi – rugi yang terjadi, besar amplitudo output lebih kecil bila dibandingkan dengan amplitudo ketika di inputkan ke dalam serat optik, sehingga amplitudo yang kecil tadi yang dihasilkan oleh Lempeng Piezoelektrik, setelah melewati serat optik menjadi sangat kecil dan berada di bawah batas ambang tegangan yang bisa dibaca oleh frekuensimeter dan voltmeter, walaupun sudah dikuatkan oleh penguat. Hal ini bisa dibuktikan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan udara sebagai medium transmisi sinar. Pada frekuensi tertentu dimana amplitudo menjadi sangat kecil, frekuensi meter tidak mampu untuk membaca amplitudo secara akurat karena sangat kecilnya amplitudo yang dihasilkan oleh lempeng piezoelektrik.

2. Rugi akibat tidak terfokusnya cahaya yang diterima atau yang masuk ke serat optik kedua, sehingga intensitas laser yang masuk juga berkurang atau lebih kecil dari intensitas yang dipancarkan oleh serat pertama. Amplitudo yang dibaca oleh voltmeter sangat bergantung pada besar intensitas yang diterima detektor, karena intensitas tersebut akan dirubah ke dalam bentuk tegangan (volt). Kecilnya intensitas yang diterima oleh detektor menyebabkan amplitudo informasi yang dikirimkan oleh detektor juga kecil. Untuk mengatasi masalah pemfokusan cahaya ini, penulis mencoba meletakkan lensa objektif diantara lempeng piezoelektrik dengan serat optik penerima signal, tetapi itupun menghadapi kendala yaitu tentang jarak maksimal antara piezoelektrik dengan serat optik yang diperbolehkan menurut hasil eksperimen pada langkah pertama adalah $1400\ \mu\text{m}$ atau $1,4\ \text{mm}$. Dari sini, tentu saja dapat diketahui bahwa tidak mungkin memaksakan diri untuk memasang lensa objektif diantara lempeng piezoelektrik dengan serat optik. Usaha yang lain adalah dengan cara mendekatkan dan menjauhkan jarak serat optik terhadap Lempeng Piezoelektrik, dan hasilnya sama saja. Bahkan pada jarak tertentu, yaitu di luar jarak maksimal $1400\ \mu\text{m}$, osiloskop tidak bisa mendeteksi sedikitpun frekuensi yang masuk.
3. Rugi akibat lekukan yang terjadi pada serat optik juga menjadi salah satu kendala pada penelitian ini. Pada saat serat optik di pasang atau diatur dengan posisi ada banyak lekukan, tidak ada sedikitpun data yang bisa. Bahkan voltmeter yang diatur pada posisi AC, yang mempresentasikan besar amplitudo yang diterima, juga tidak sedikitpun menampilkan nilai amplitudo

yang diterima. Hal ini, selain disebabkan oleh lekukan juga karena sangat kecilnya amplitudo yang masuk pada serat optik kedua dan yang dihasilkan oleh lempeng piezoelektrik.

4. Rugi akibat sudut pantulan pancaran sinar oleh serat pertama, kemudian sudut pantulan lempeng piezoelektrik, dan besar sudut masuknya sinar pada serat kedua. Tiap serat optik pasti memiliki nilai aperture numeric yang di gambarkan dalam bentuk sudut pantulan minimum (sudut kritis) di dalam serat optik dan sudut pantulan maksimum di awal core. Apabila sebuah sinar masuk ke dalam core serat optik dengan sudut yang melebihi sudut maksimal, maka rugi akibat pantulan menjadi lebih banyak dan intensitas yang ditransmisikan ke dalam serat optik menjadi semakin kecil.
5. Faktor lain yang menjadi penyebab dan kendala di dalam penelitian ini adalah rugi yang diakibatkan oleh serat optik itu sendiri. Cahaya yang masuk ke dalam serat optik akan mengalami dispersi bahan (pemandu gelombang) dan disperse multimode. Disperse yang terjadi mengakibatkan pelebaran pulsa dan cacat pada signal analog, sehingga variasi signal yang diterima oleh detektor memiliki besar amplitudo yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi signal masukan. Hal ini disebabkan oleh hubungan antara indeks bias serat optik dengan perubahan panjang gelombang, yakni indeks bias serat optik akan berubah seiring perubahan panjang gelombang yaitu pada saat sinar mengalir dari satu bahan ke bahan lain pada serat optik. Tiap bahan itu memiliki indeks bias yang berbeda. Dengan berubahnya indeks bias, maka kecepatan perambatan pulsa dalam serat optik juga akan berubah. Sehingga

signal yang dikirim untuk mencapai ujung serat memiliki kecepatan yang berbeda – beda. Bila signal – signal tadi dijumlahkan, akan menghasilkan pulsa yang melebar. Selain itu kerugian yang terjadi di dalam serat optik, juga dipengaruhi oleh peredaman cahaya sepanjang serat optik yaitu absorpsi atau penyerapan. Kemungkinan yang lain yaitu terjadinya polarisasi pada sinar pembawa informasi ketika mengalir di dalam serat optik.

6. Suhu ruangan tempat penelitian merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya ketidak berhasilan ini. Perubahan koefisien pemuaian pada perbatasan inti dan selubung akibat adanya perubahan suhu sangat mempengaruhi proses penelitian. Pada saat suhu ruangan naik atau turun, tentunya mempengaruhi suhu serat optik. Ketika suhu pada serat optik naik atau turun, maka terjadi gangguan terhadap keseimbangan termal pada perbatasan inti dan selubung. Ini terjadi akibat perbedaan koefisien pemuaian bahan antara inti dan selubung. Begitu pula dengan material pembentuk komponen elektronika pada peralatan yang digunakan pada penelitian ini, misalkan material pembentuk piezoelektrik, material fotodetektor dan lainnya. Tentunya suhu sangat mempengaruhi stabilitas komponen – komponen peralatan penelitian tersebut.
7. Terjadinya interferensi merusak (*Destructive Interference*) dan superposisi pada informasi yang dikirimkan, baik di dalam maupun diluar serat. Pada posisi dimana amplitudo yang berlawanan bertemu dan terinterferensi, maka amplitudo yang dihasilkan pun mengecil, apalagi bila kedua amplitudo

memiliki nilai yang sama tetapi berlawanan, pada saat terjadi superposisi maka amplitudo yang dihasilkan menjadi nol.

8. Generator frekuensi yang digunakan juga menjadi salah satu penyebab dalam ketidak berhasilan ini. Setelah dilakukan pengecekan ulang, ditemukan gejala pada generator, semakin tinggi frekuensi yang dikeluarkan, semakin mengecil pula amplitudo yang mengiringinya, sehingga amplitudo yang diterima oleh piezoelektrik kecil dan menyebabkan piezoelektrik tidak dapat bekerja secara maksimal. Akibatnya, simpangan yang dihasilkan pun juga tidak maksimal.
9. Penyebab lainnya adalah pada piranti pemantul sinar (cermin), cermin yang mempunyai massa merupakan salah satu kendala pada penelitian ini. Cermin yang dipakai dan ditempelkan pada lempeng piezoelektrik terlalu tebal dan berat untuk lempeng piezoelektrik, sehingga cermin tersebut bersifat meredam getaran yang ditimbulkan oleh lempeng, sehingga amplitudo getaran tidak bisa maksimal.
10. Faktor yang lainnya yang mungkin menyebabkan ketidak berhasilan ini adalah peletakkan lempeng piezoelektrik yang tidak sempurna (tegak lurus) terhadap sensor serat optik yang akan menyebabkan sudut pantulan melebar dan tidak terfokus pada sensor serat optik.

Oleh karena banyaknya masalah yang timbul pada langkah kerja ke empat ini, maka secara otomatis langkah kerja selanjutnya tidak bisa dilakukan. Tetapi, tujuan lain di dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui besar amplitudo getar bahan yang digetarkan pada frekuensi ultrasonik, berhasil dilakukan dengan baik

dengan metode yang menggunakan udara sebagai media transmisi. dan data yang didapatkan pun cukup baik. Selain itu, sempat dilakukan pengukuran frekuensi lempeng piezoelektrik yang diosilasikan pada frekuensi audio (di bawah 20 KHz). Hasil yang didapatkan lebih baik dari penelitian yang sebelumnya sudah pernah dilakukan. Frekuensi maksimal yang dapat dideteksi pada range audio ini adalah sebesar 4233 Hz atau 4,233 KHz. Hasil ini lebih baik bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan yaitu 500 Hz (Rizdky, 2004, Fisika FMIPA Universitas Airlangga), 900 Hz (Zulaichah, 2005, Tehnik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Untuk pengukuran frekuensi, informasi maksimal yang berhasil dikirimkan oleh modulator eksternal ke detektor dengan media pembawa informasi cahaya laser He-Ne dan medium yang dilewati adalah udara, mencapai frekuensi sebesar 50 KHz. Hasil ini masih lebih besar apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan modulasi eksternal berdasarkan efek magneto optik dengan menggunakan bahan sodium klorida sebagai medium yang dilewati sinar laser, yaitu 12 KHz (Moh. Yasin dan Pujiyanto, 2000).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Frekuensi getaran yang dihasilkan oleh benda yang bergetar (modulator eksternal) pada frekuensi ultrasonik bisa dideteksi.
2. Amplitudo benda yang bergetar pada frekuensi ultrasonik juga bisa dideteksi.
3. Udara sebagai medium yang dilewati cahaya laser, tidak memberikan pengaruh yang besar pada informasi yang dibawa oleh laser.
4. Pada penelitian ini sensor serat optik tidak dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan frekuensi pada lempeng piezoelektrik yang digetarkan pada frekuensi ultrasonik.
5. Pada penelitian ini sensor serat optik tidak dapat digunakan untuk mengukur frekuensi lempeng piezoelektrik yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik.
6. Pada penelitian ini sensor serat optik tidak dapat digunakan untuk mengukur amplitudo lempeng piezoelektrik yang berosilasi pada frekuensi ultrasonik.

5.2. Saran

Agar tidak terjadi kegagalan dalam penelitian serupa, maka penulis mencoba memberikan beberapa saran untuk keberhasilan pada penelitian yang akan datang. Saran – saran tersebut adalah :

1. Apabila penelitian menggunakan serat optik masih terus dilanjutkan, maka diharapkan pengaruh rugi daya pada titik pertemuan antara lempeng piezoelektrik dengan serat optik bisa lebih di minimalisir, yaitu dengan cara meletakkan objek dengan posisi yang benar – benar tegak lurus terhadap sensor serat optik sehingga tidak mempengaruhi informasi yang dikirimkan oleh objek penelitian.
2. Perlu dicari dan ditentukan kembali jarak maksimal antara objek dengan sensor serat optik karena hal ini sangat menentukan keakurasian hasil penelitian.
3. Penelitian selanjutnya, disarankan untuk dilakukan pada suhu kamar (normal), karena suhu sangat mempengaruhi perubahan koefisien pemuaian bahan baik pada bahan serat optik ataupun material pembentuk komponen elektronik pada peralatan penelitian.
4. Cermin yang ditempelkan pada objek benda yang bergetar diusahakan setipis dan seringan mungkin agar tidak meredam getaran yang dihasilkan oleh benda yang bergetar.
5. Generator frekuensi yang digunakan sebagai sumber, harus dalam keadaan stabil. Dalam arti, baik frekuensi atau amplitudo atau apapun yang dibutuhkan dalam penelitian yang disuplai oleh piranti ini, haruslah stabil. Begitu pula dengan stabilitas peralatan yang lain.
6. Detektor cahaya yang digunakan, disarankan menggunakan detektor yang lebih peka dan mempunyai ketelitian yang lebih tinggi. Begitu pula dengan peralatan yang lain.

7. Untuk penguat, disarankan untuk menggunakan penguat yang bisa menggandakan tegangan sampai 1000 kali atau lebih.
8. Pengaruh – pengaruh eksternal seperti getaran yang dapat mempengaruhi hasil dari penelitian ini, harus dihilangkan atau di minimalkan.
9. Memodifikasi perangkat lunak dari komputer agar dapat menghitung secara digital perubahan intensitas berupa tegangan keluaran pada tiap frekuensi masukan pada masing-masing bahan sekaligus memberikan hasil yang signifikan atas informasi yang dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Jenkins and White, 1957, *Fundamentals of Optics*, Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York.
- Keiser, G. 1991, *Optical Fiber Communication*, Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York.
- Laud, B. B., Penterjemah Sutanto, 1988, *Laser dan Optik Non Linier*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Morse, M.P., 1948, *Vibration And Sound*, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Nazir, M., 1988, *Metode Penelitian*, Ghalia, Jakarta.
- Prianto, Heri, 1995, *Pengukuran Amplitudo Osilasi Orde Mikrometer Dengan Metode Interferometri Michelson*, Skripsi Sarjana Fisika, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Snyder, A.W., and Love, J.D, 1983, *Optical Wave Guide Theory*, Chapman & all., New York.
- Trisnarningsih, M. Eng. Sc, 2000, *Serat Optik Dan Berbagai Aplikasinya, Orasi Ilmiah*, FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Van Etten, W., and Van der Plaats, J., 1991, *Fundamental of Optical Fiber Communications*, Prentice Hall, New York.
- Widodo, T. S., 1995, *Optoelektronika Komunikasi Serat Optik*, Andy Offset, Yogyakarta.
- Kenneth Krane, 1992, *Fisika Modern*, UI-PRESS, Salemba Jakarta
- Furoidah, I, 1993, *Fisika Dasar I*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wiguna, R. B. T., 2004, *Pengukuran Amplitudo Osilasi Kecil Menggunakan Sensor Serat Optik*. FMIPA Skripsi Sarjana Fisika, Universitas Airlangga, Surabaya.
- Setiawan, F A, 2004, *Pemanfaatan Serat Optik Sebagai Sensor Tekanan*. FMIPA Skripsi Sarjana Fisika, Universitas Airlangga, Surabaya.

Siti Zulaichah, 2005, *Pengukuran Frekuensi Getaran Menggunakan Sensor Serat Optik*, Thesis Tehnik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Introduction to Piezo Transducers Piezo System, Inc, <http://www.piezo.com>

Jenny, R, *Fundamental Of Fiber Optics*, <http://www.volpiusa.com>

Wolfram Research, <http://www.scienceworld.wolfram.com>

Freudenrich, C C, *How Fiber Optics Work*, <http://science.howstuffworks.com/>

Lampiran 1

Pengambilan Data Skripsi Mikro Pergeseran		
Sumber	Laser HeNe 632,8 nm	15 milliWatt
No	Z (mikroM)	I (mV)
1	0	0.00
2	5	0.00
3	10	0.00
4	15	0.00
5	20	0.01
6	25	0.01
7	30	0.01
8	35	0.02
9	40	0.03
10	45	0.04
11	50	0.05
12	55	0.05
13	60	0.06
14	65	0.07
15	70	0.08
16	75	0.09
17	80	0.10
18	85	0.11
19	90	0.12
20	95	0.13
21	100	0.14
22	105	0.15
23	110	0.15
24	115	0.17
25	120	0.18
26	125	0.19
27	130	0.20
28	135	0.21
29	140	0.22
30	145	0.24
31	150	0.26
32	155	0.28
33	160	0.30
34	165	0.32
35	170	0.34
36	175	0.36
37	180	0.38
38	185	0.41
39	190	0.43
40	195	0.46
41	200	0.48
42	205	0.50
43	210	0.52
44	215	0.55
45	220	0.56
46	225	0.58
47	230	0.61
48	235	0.63
49	240	0.65
50	245	0.67
51	250	0.70
52	255	0.71
53	260	0.74
54	265	0.76
55	270	0.79
56	275	0.82
57	280	0.85
58	285	0.90
59	290	0.93
60	295	0.96
61	300	0.96
62	305	0.98
63	310	1.01
64	315	1.03
65	320	1.06
66	325	1.09
67	330	1.10
68	335	1.12
69	340	1.13
70	345	1.15
71	350	1.16
72	355	1.17
73	360	1.18
74	365	1.20
75	370	1.21
76	375	1.23
77	380	1.25
78	385	1.27
79	390	1.29
80	395	1.30
81	400	1.32
82	405	1.34

83	410	1.36
84	415	1.39
85	420	1.40
86	425	1.43
87	430	1.46
88	435	1.50
89	440	1.54
90	445	1.58
91	450	1.63
92	455	1.67
93	460	1.73
94	465	1.74
95	470	1.79
96	475	1.80
97	480	1.83
98	485	1.85
99	490	1.90
100	495	1.91
101	500	1.94
102	505	1.97
103	510	2.01
104	515	2.04
105	520	2.08
106	525	2.11
107	530	2.13
108	535	2.15
109	540	2.17
110	545	2.20
111	550	2.23
112	555	2.26
113	560	2.28
114	565	2.32
115	570	2.34
116	575	2.35
117	580	2.38
118	585	2.39
119	590	2.42
120	595	2.44
121	600	2.47
122	605	2.49
123	610	2.51
124	615	2.53
125	620	2.57
126	625	2.59
127	630	2.66
128	635	2.69
129	640	2.70

130	645	2.72
131	650	2.73
132	655	2.75
133	660	2.77
134	665	2.79
135	670	2.81
136	675	2.83
137	680	2.87
138	685	2.89
139	690	2.91
140	695	2.98
141	700	3.00
142	705	3.04
143	710	3.07
144	715	3.09
145	720	3.12
146	725	3.14
147	730	3.17
148	735	3.20
149	740	3.23
150	745	3.24
151	750	3.24
152	755	3.24
153	760	3.27
154	765	3.30
155	770	3.32
156	775	3.36
157	780	3.40
158	785	3.40
159	790	3.42
160	795	3.45
161	800	3.46
162	805	3.46
163	810	3.48
164	815	3.49
165	820	3.50
166	825	3.52
167	830	3.55
168	835	3.56
169	840	3.58
170	845	3.62
171	850	3.64
172	855	3.67
173	860	3.67
174	865	3.79
175	870	3.70
176	875	3.72

177	880	3.76	224	1115	4.55
178	885	3.76	225	1120	4.57
179	890	3.76	226	1125	4.58
180	895	3.80	227	1130	4.58
181	900	3.81	228	1135	4.59
182	905	3.82	229	1140	4.60
183	910	3.84	230	1145	4.60
184	915	3.87	231	1150	4.64
185	920	3.89	232	1155	4.63
186	925	3.92	233	1160	4.63
187	930	3.94	234	1165	4.66
188	935	3.95	235	1170	4.65
189	940	3.99	236	1175	4.65
190	945	4.01	237	1180	4.65
191	950	4.03	238	1185	4.68
192	955	4.05	239	1190	4.68
193	960	4.08	240	1195	4.69
194	965	4.10	241	1200	4.71
195	970	4.10	242	1205	4.73
196	975	4.11	243	1210	4.74
197	980	4.14	244	1215	4.74
198	985	4.15	245	1220	4.77
199	990	4.19	246	1225	4.76
200	995	4.24	247	1230	4.78
201	1000	4.24	248	1235	4.79
202	1005	4.25	249	1240	4.79
203	1010	4.25	250	1245	4.79
204	1015	4.31	251	1250	4.80
205	1020	4.31	252	1255	4.81
206	1025	4.31	253	1260	4.82
207	1030	4.33	254	1265	4.82
208	1035	4.33	255	1270	4.82
209	1040	4.34	256	1275	4.82
210	1045	4.34	257	1280	4.82
211	1050	4.37	258	1285	4.82
212	1055	4.38	259	1290	4.82
213	1060	4.38	260	1295	4.81
214	1065	4.40	261	1300	4.82
215	1070	4.43	262	1305	4.82
216	1075	4.43	263	1310	4.83
217	1080	4.42	264	1315	4.84
218	1085	4.44	265	1320	4.85
219	1090	4.44	266	1325	4.85
220	1095	4.44	267	1330	4.87
221	1100	4.44	268	1335	4.89
222	1105	4.46	269	1340	4.90
223	1110	4.52	270	1345	4.90

271	1350	4.90
272	1355	4.90
273	1360	4.90
274	1365	4.90
275	1370	4.92
276	1375	4.92

277	1380	4.94
278	1385	4.94
279	1390	4.95
280	1395	4.95
281	1400	4.95

Lampiran 2

Data Hasil Pengamatan Intensitas Dan Frekuensi Keluaran Serta Data Amplitudo Yang Dilakukan Pada Set-Up Alat Yang Menggunakan Udara Sebagai Media Transmisi Informasi Yang Dibawa Oleh Laser Carrier..

**Piezo Super Horn Original
Seri CN-4800**

Specifications

Type	PIEZO-ELECTRIC SIRENS
Intermittent Peak Power	75 Watt / Load 8 Ohm
Net Weight	45 Grams
Frequency Respons	1 KHz – 50 KHz

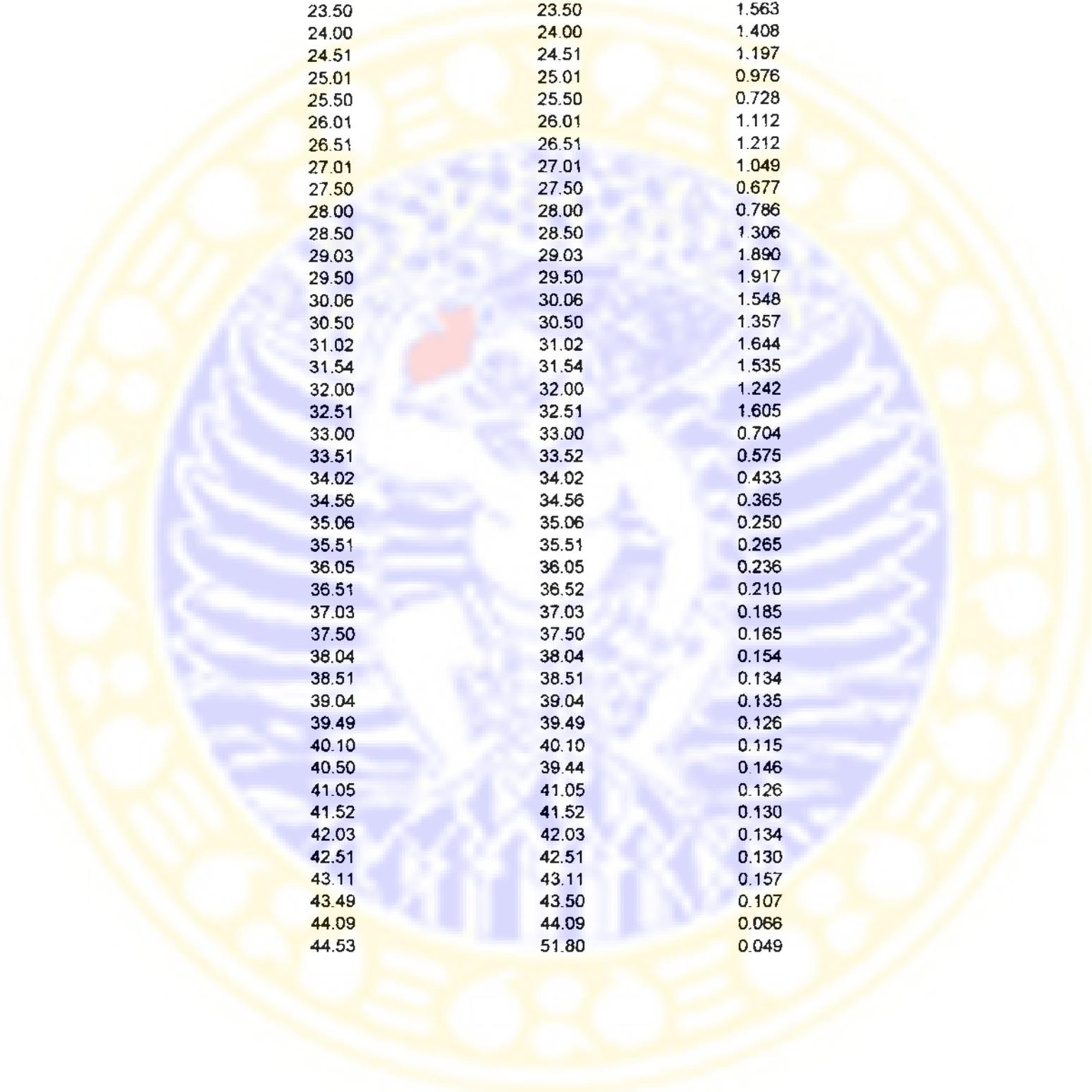
Piezo I

Frek. Input (KHz)	Frek. Output (KHz)	Amplitudo (V)
20.01	20.01	1.130
20.51	20.51	1.120
21.02	21.02	0.869
21.52	21.52	0.770
22.03	22.03	0.753
22.50	22.50	0.708
23.03	23.04	0.358
23.52	23.54	0.409
24.00	24.00	0.436
24.51	24.51	0.500
25.02	25.02	0.793
25.53	25.53	1.160
26.00	26.00	0.515
26.52	26.52	0.212
27.02	51.70	0.085
27.53	29.67	0.385
28.02	51.60	0.093
28.52	51.60	0.117
29.02	42.24	0.148
29.56	29.59	0.229
30.04	30.04	0.398
30.51	30.51	0.593
31.04	31.04	0.556
31.56	31.56	0.470
32.00	32.00	0.598
32.54	32.54	1.055
33.03	33.03	1.105

33.56	33.56	0.762
34.03	34.03	0.583
34.58	34.58	0.370
35.04	35.04	0.315
35.50	35.50	0.365
36.07	36.07	0.407
36.53	36.54	0.494
37.04	37.04	0.495
37.50	37.50	0.512
38.04	38.04	0.468
38.51	51.90	0.082
39.05	39.05	0.216
39.49	39.49	0.165
40.05	40.06	0.278
40.51	40.51	0.393
41.07	41.07	0.443
41.52	41.52	0.579
42.03	42.03	0.846
42.51	42.51	1.194
43.08	43.08	1.275
43.56	43.56	1.156
44.07	44.07	0.801
44.52	44.52	0.543
45.00	45.00	0.387
45.52	45.53	0.302
46.06	46.06	0.228
46.51	46.51	0.197
47.04	47.05	0.199
47.53	47.53	0.203
48.09	48.09	0.178
48.56	48.56	0.167
49.02	49.02	0.159
49.55	49.55	0.171
50.04	50.04	0.151
50.51	47.73	0.096
51.02	51.70	0.056
51.50	51.60	0.010
52.00	51.60	0.048

Piezo II

Frek. Input (KHz)	Frek. Output (KHz)	Teg. Output (V)
20.01	20.01	2.354
20.50	20.50	2.185
21.00	21.00	1.595
21.50	21.50	1.653
22.00	22.00	2.038



22.50	22.50	2.150
23.00	23.00	1.182
23.50	23.50	1.563
24.00	24.00	1.408
24.51	24.51	1.197
25.01	25.01	0.976
25.50	25.50	0.728
26.01	26.01	1.112
26.51	26.51	1.212
27.01	27.01	1.049
27.50	27.50	0.677
28.00	28.00	0.786
28.50	28.50	1.306
29.03	29.03	1.890
29.50	29.50	1.917
30.06	30.06	1.548
30.50	30.50	1.357
31.02	31.02	1.644
31.54	31.54	1.535
32.00	32.00	1.242
32.51	32.51	1.605
33.00	33.00	0.704
33.51	33.52	0.575
34.02	34.02	0.433
34.56	34.56	0.365
35.06	35.06	0.250
35.51	35.51	0.265
36.05	36.05	0.236
36.51	36.52	0.210
37.03	37.03	0.185
37.50	37.50	0.165
38.04	38.04	0.154
38.51	38.51	0.134
39.04	39.04	0.135
39.49	39.49	0.126
40.10	40.10	0.115
40.50	39.44	0.146
41.05	41.05	0.126
41.52	41.52	0.130
42.03	42.03	0.134
42.51	42.51	0.130
43.11	43.11	0.157
43.49	43.50	0.107
44.09	44.09	0.066
44.53	51.80	0.049

Piezo III

Frek. Input (KHz)	Frek. Output (KHz)	Amplitudo (V)
20.02	20.02	2.607
20.51	20.51	2.612
21.01	21.01	2.580
21.50	21.50	2.557
22.02	22.02	2.526
22.51	22.51	2.498
23.01	23.01	2.461
23.51	23.51	2.406
24.01	24.01	2.362
24.50	24.50	2.300
25.04	25.04	2.219
25.52	25.52	2.114
26.02	26.02	1.991
26.52	26.52	1.883
27.03	27.03	1.938
27.52	27.52	1.903
28.01	28.01	0.985
28.52	28.52	0.518
29.00	29.01	0.616
29.51	29.51	1.413
30.02	30.02	1.685
30.54	30.54	1.427
31.02	31.02	1.135
31.51	31.51	0.870
32.03	32.03	0.734
32.54	32.54	0.787
33.04	33.04	0.606
33.50	33.51	0.343
34.04	34.14	0.120
34.50	34.50	0.198
35.05	35.05	0.348
35.55	35.55	0.408
36.03	36.03	0.390
36.51	36.51	0.251
37.08	37.08	0.178
37.50	37.50	0.137
38.06	38.10	0.081
38.50	51.50	0.052
39.03	51.50	0.036
39.53	51.50	0.034
40.03	51.40	0.064
40.50	43.40	0.065
41.04	41.05	0.072

41.54	41.54	0.081
42.03	42.03	0.072
42.55	42.58	0.066
43.00	43.00	0.069
43.54	43.50	0.081
44.12	44.08	0.081
44.51	41.54	0.085
45.05	44.72	0.087
45.53	45.04	0.072
46.10	51.40	0.050

Seri PCT-1800

Piezo I

Frek. Input (KHz)	Frek. Output (KHz)	Teg. Output (V)
20.02	20.02	2.730
20.51	20.51	2.666
21.01	21.01	2.604
21.50	21.50	2.535
22.00	22.00	2.439
22.50	22.50	2.362
23.01	23.01	2.226
23.50	23.50	2.097
24.00	24.00	1.957
24.50	24.50	1.800
25.00	25.04	1.703
25.51	25.51	1.346
26.01	26.01	1.180
26.50	26.50	1.387
27.05	27.05	1.442
27.52	27.52	1.575
28.01	28.01	1.083
28.53	28.53	0.455
29.03	29.03	0.244
29.56	29.56	0.264
30.05	30.05	0.318
30.52	30.52	0.381
31.00	31.00	0.439
31.50	31.50	0.414
32.00	32.00	0.432
32.50	32.50	0.459
33.03	33.03	0.504
33.53	33.53	0.535
34.00	34.00	0.542

34.50	34.50	0.503
35.00	35.00	0.430
35.52	35.52	0.330
36.04	36.04	0.243
36.51	36.51	0.162
37.04	37.03	0.104
37.52	37.47	0.062
38.04	37.75	0.024

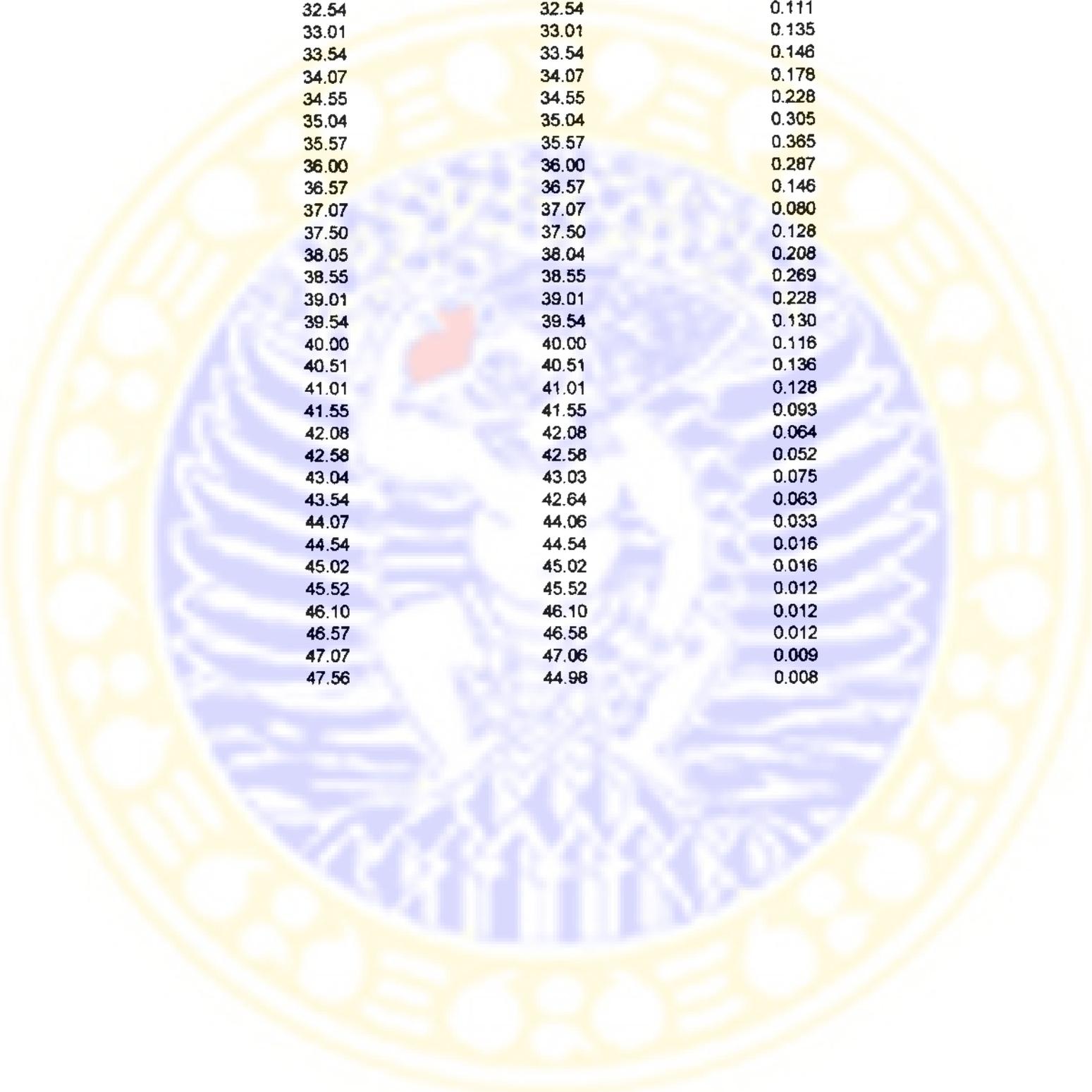
Piezo II

Frek. Input (KHz)	Frek. Output (KHz)	Teg. Output (V)
20.05	20.05	2.722
20.51	20.51	2.633
21.01	21.01	2.562
21.51	21.51	2.506
22.01	22.02	2.419
22.52	22.52	2.338
23.01	23.01	2.228
23.51	23.51	1.994
24.02	24.02	2.044
24.52	24.52	1.474
25.01	25.01	0.986
25.55	25.55	0.559
26.01	26.01	0.552
26.53	26.53	0.583
27.01	27.07	0.394
27.52	30.16	0.278
28.05	30.72	0.307
28.52	28.78	0.300
29.02	29.01	0.334
29.52	29.52	0.383
30.02	30.02	0.533
30.55	30.55	0.680
31.04	31.04	0.863
31.50	31.50	1.085
32.05	32.05	1.118
32.50	32.50	1.016
33.02	33.02	0.677
33.51	33.51	0.540
34.08	34.08	0.843
34.53	34.53	0.828
35.08	35.08	0.608
35.52	35.52	0.652

36.01	36.01	0.507
36.50	36.50	0.380
37.00	37.01	0.306
37.55	37.55	0.274
38.01	38.01	0.267
38.56	38.57	0.259
39.08	39.71	0.244
39.56	39.56	0.239
40.03	40.03	0.253
40.50	40.50	0.293
41.06	41.06	0.319
41.52	41.52	0.326
42.05	42.05	0.332
42.54	42.54	0.329
43.06	43.06	0.329
43.58	43.59	0.314
44.01	44.01	0.266
44.56	44.56	0.238
45.00	45.09	0.195
45.52	48.33	0.177

Piezo III

Frek. Input (KHz)	Frek. Output (KHz)	Teg. Output (V)
20.07	20.07	2.664
20.53	20.53	2.654
21.02	21.02	2.610
21.50	21.50	2.560
22.03	22.03	2.512
22.53	22.53	2.470
23.08	23.08	2.423
23.56	23.55	2.359
24.00	24.00	2.261
24.52	24.51	1.726
25.02	25.02	0.928
25.52	25.52	0.513
26.01	26.01	0.298
26.51	26.52	0.153
27.09	27.09	0.139
27.54	27.54	0.197
28.09	28.09	0.106
28.58	28.54	0.044
29.04	29.42	0.018
29.53	29.52	0.022
30.04	30.03	0.048
30.58	30.58	0.068
31.02	31.02	0.079



31.57	31.57	0.094
32.06	32.05	0.091
32.54	32.54	0.111
33.01	33.01	0.135
33.54	33.54	0.146
34.07	34.07	0.178
34.55	34.55	0.228
35.04	35.04	0.305
35.57	35.57	0.365
36.00	36.00	0.287
36.57	36.57	0.146
37.07	37.07	0.080
37.50	37.50	0.128
38.05	38.04	0.208
38.55	38.55	0.269
39.01	39.01	0.228
39.54	39.54	0.130
40.00	40.00	0.116
40.51	40.51	0.136
41.01	41.01	0.128
41.55	41.55	0.093
42.08	42.08	0.064
42.58	42.58	0.052
43.04	43.03	0.075
43.54	42.64	0.063
44.07	44.06	0.033
44.54	44.54	0.016
45.02	45.02	0.016
45.52	45.52	0.012
46.10	46.10	0.012
46.57	46.58	0.012
47.07	47.06	0.009
47.56	44.98	0.008

Lampiran III**Regression****Variables Entered/Removed^a**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	Z ^b	.	Enter

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: I

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.990 ^a	.980	.980	.23651

- a. Predictors: (Constant), Z

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	776.294	1	776.294	13877.510	.000 ^a
	Residual	15.607	279	.056		
	Total	791.901	280			

- a. Predictors: (Constant), Z
b. Dependent Variable: I

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.132	.028		-4.702	.000
	Z	.004	.000	.990	117.803	.000

- a. Dependent Variable: I

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	CN1in	36.0295	65	9.45877	1.17322
	CN1out	37.5340	65	9.88120	1.22561
Pair 2	CN2in	32.2696	50	7.30217	1.03268
	CN2out	32.3944	50	7.59580	1.07421
Pair 3	CN3in	33.0266	53	7.73307	1.06222
	CN3out	34.0330	53	9.19733	1.26335
Pair 4	PCT1in	29.0154	37	5.41772	.89067
	PCT1out	29.0070	37	5.40108	.88793
Pair 5	PCT2in	32.7790	52	7.58474	1.05181
	PCT2out	32.9558	52	7.64517	1.06019
Pair 6	PCT3in	33.7930	56	8.15958	1.09037
	PCT3out	33.7357	56	8.06500	1.07773

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	CN1in & CN1out	65	.841	.000
Pair 2	CN2in & CN2out	50	.991	.000
Pair 3	CN3in & CN3out	53	.935	.000
Pair 4	PCT1in & PCT1out	37	1.000	.000
Pair 5	PCT2in & PCT2out	52	.997	.000
Pair 6	PCT3in & PCT3out	56	.999	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)	
	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval of the Difference					
				Lower	Upper				
Pair 1	CN1in - CN1out	-1.5045	5.47392	.87896	-2.8608	-.1481	-2.216	64	.030
Pair 2	CN2in - CN2out	-.1248	1.04196	.14735	-.4209	.1713	-.847	49	.401
Pair 3	CN3in - CN3out	-1.0064	3.36573	.46232	-1.9341	-.0787	-2.177	52	.034
Pair 4	PCT1in - PCT1out	.0084	.04879	.00802	-.0079	.0246	1.045	36	.303
Pair 5	PCT2in - PCT2out	-.1787	.63935	.08866	-.3547	.0013	-1.993	51	.052
Pair 6	PCT3in - PCT3out	.0573	.36753	.04911	-.0411	.1557	1.167	55	.248

Lampiran IV

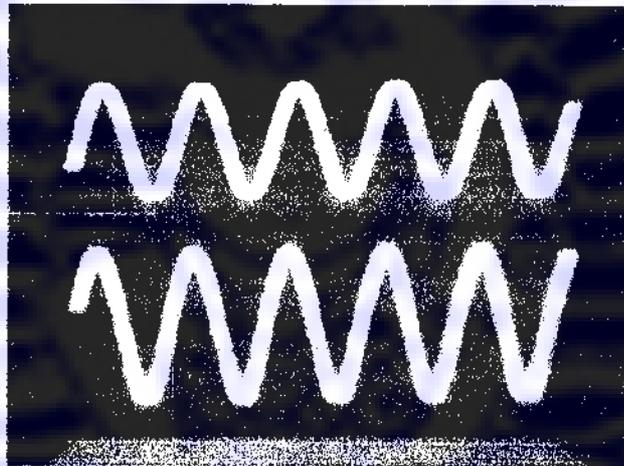
Foto set – up alat untuk pengambilan data guna menentukan daerah linieritas antara intensitas keluaran laser pointer terhadap pergeseran



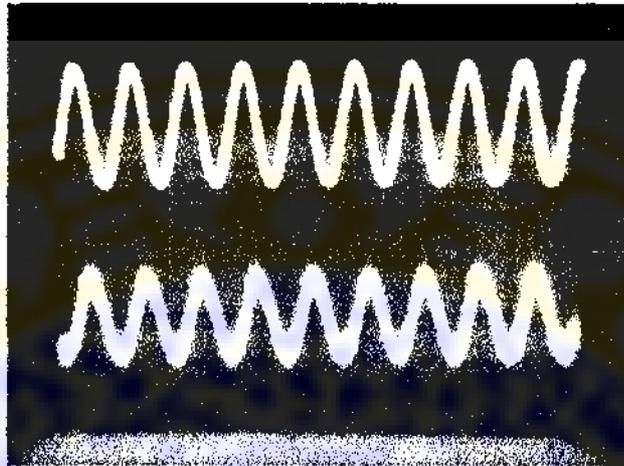
Foto set – up alat untuk pengujian frekuensi vibrasi dan pengukuran amplitudo osilasi kecil dengan menggunakan udara sebagai media transmisi sinar



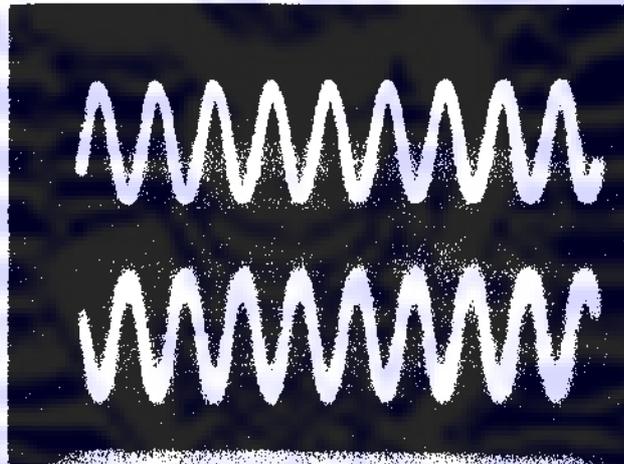
Foto set - up alat untuk pengujian frekuensi vibrasi dan pengukuran amplitudo osilasi kecil yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus media transmisi sinar



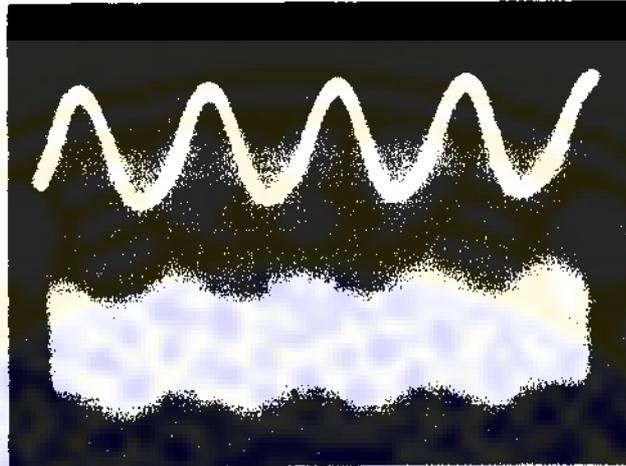
Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 977 Hz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optik sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar



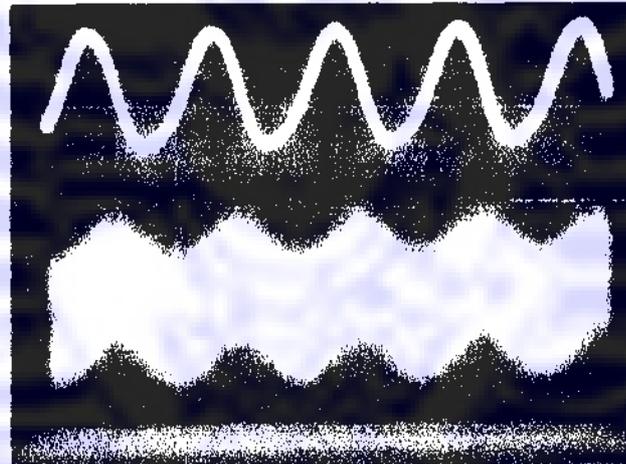
Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 1750 Hz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optic sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar



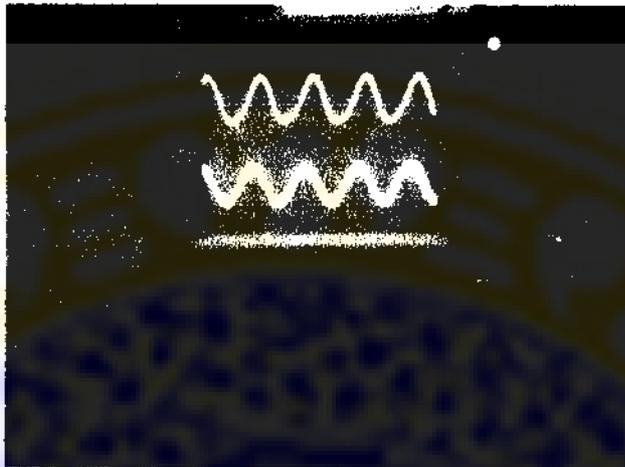
Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 4233 Hz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optic sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar



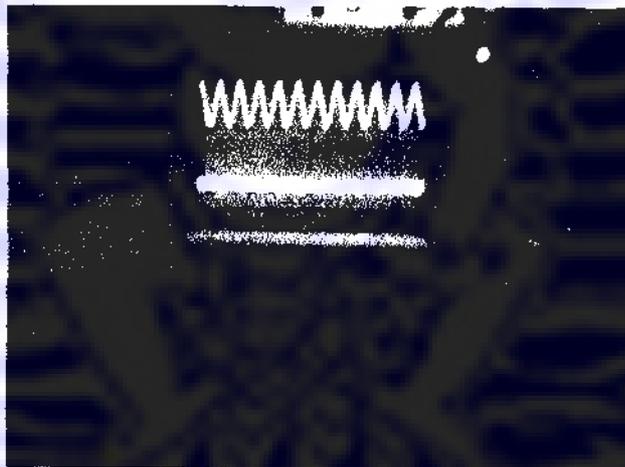
Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 20,43 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optic sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar



Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 21,54 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optic sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar



Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 20.01 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan udara sebagai media transmisi sinar



Pola intensitas osilasi Lempeng Piezoelectric I seri CN-4800 pada frekuensi 5.16 KHz yang direkam dari set-up alat yang menggunakan serat optic sebagai sensor sekaligus sebagai media transmisi sinar