

ADLN - Perpustakaan Unair
11924-001100
CHARGE COUPLED DEVICES

PEMANFAATAN DETEKTOR CCD SEBAGAI PIRANTI SENSOR PERGESERAN MIKRO

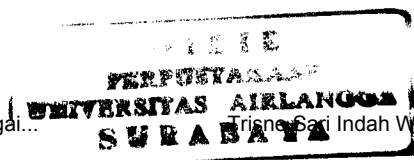
SKRIPSI

11924-001100
Wij
P



TRISNE SARI INDAH WIJAYA

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2005**



**PEMANFAATAN DETEKTOR CCD SEBAGAI PIRANTI
SENSOR PERGESERAN MIKRO**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains
Bidang Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam Universitas Airlangga**

Oleh :

TRISNE SARI INDAH WIJAYA
Nim. 080112282

Tanggal Lulus : 20 Juli 2005

Disetujui oleh :

Pembimbing I,



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

Pembimbing II,



Samian, S.Si.
NIP. 132 206 065

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : PEMANFAATAN DETEKTOR CCD SEBAGAI
PIRANTI SENSOR PERGESERAN MIKRO

Penyusun : TRISNE SARI INDAH WIJAYA

NIM : 080112282

Tanggal Ujian : 20 Juli 2005

Pembimbing I : Drs. M. 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

FMIPA Universitas Airlangga



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

Karya tulis ini mungkin tiada arti bagi mereka

Akan tetapi,

Karya tulis ini merupakan sesuatu yang sangat berarti untuk

Perjalanan hidupku masa mendatang,

Dengan perlindungan Allah dan Kuasa-Nya

Kupersembahkan Skripsi ini kepada:

- . Ayah dan Ibuku “ Sarifudin & Aminah” yang terhormat**
- . Saudara- saudaraku tersayang**
- . Seseorang yang sangat berarti bagiku**
- . Rekan – rekan seperjuangan**
- . Almamaterku yang selalu kujunjung tinggi**

Teriring ucapan terima kasih atas do’a dan cinta kasihnya selama ini

“Sesungguhnya hamba Allah yang paling takut kepada Allah hanyalah hamba-hamba yang berilmu(Ulama)”

(Q.S.AL- Fathir:28)

“Barang siapa berjalan untuk mencari ilmu, pasti Allah akan memudahkan baginya jalan ke Syurga”

(H.R.muslim)

“Jika kamu berbuat kebajikan kepada orang lain catatlah kebajikan itu diatas pasir. Tetapi jika orang lain berbuat kebajikan kepadamu catatlah kebajikan itu dengan tinta emas”

(Ayah & Ibu)

***“ Carilah ilmu sebanyak mungkin karena ilmu itu tidak akan
habis termakan oleh waktu”***

(Ayah & Ibu)

***“ Jadilah dirimu sendiri dan jangan pernah ada yang mengubah
prinsipmu selagi kamu masih dalam rel kebajikan”***

(Ayah & Ibu)

Dunia ini adalah kerajaan Allah
Segala yang ada di dunia ini merupakan atsar atas
Kasih sayang Allah
Manusia khalifah Allah, dia diciptakan agar menyembah-Nya
Serta pengembalian amanat
Hidup adalah pemberian Allah dan
Kematianpun merupakan ketetapan-Nya
Dunia adalah ladang atau tempat
Untuk berusaha mematuhi perintah Allah
Akhirat adalah tempat menerima balasan dari-Nya
Orang yang berbahagia adalah yang mengikuti petunjuk Allah
Dan
Orang yang celaka adalah yang membelakangi-Nya
Manusia memiliki tanggung jawab di negeri yang fana dan
penuh cobaan ini
Agar dia memiliki bekal untuk selamanya
Dalam negeri yang kekal
Kematian adalah jembatan penghubung
Antara dunia dan akhirat

**Dalam hati sanubari terdapat
Kekuatan yang tidak dapat ditangkap oleh indra,
Tetapi getarannya dapat menuntun pada kebaikan
Atau mendorong pada kejelekan.**

**Iman merupakan penolong bagi hati sanubari
Ia memberi makan dan cahaya terang
Sehingga tetap kuat, bersih dan
Mempunyai pandangan yang jernih
Itu karena adanya iman yang menyakini
Bahwa Allah senantiasa didekatnya, dimanapun berada!!!!**

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga. Diperkenankan untuk digunakan sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus dilakukan sejin penulis dan tetap menyebutkan sumber sesuai kebiasaan Ilmiah.

Dokumen Skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

Trisne Sari Indah Wijaya, 2005, *Pemanfaatan Detektor CCD sebagai Piranti Sensor Pergeseran Mikro*. Skripsi ini dibawah bimbingan Drs. M.Yasin, M.Si., dan Samian, S.Si., Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sensor pergeseran dengan komponen serat optik. Digunakan LED sebagai sumber cahaya dan dua serat optik bundle berindeks bias undak dan ragam banyak sebagai saluran transmisi cahaya. Serat Optik pertama berfungsi sebagai serat pengirim cahaya yang bersifat tidak statis dan menempel pada cermin datar dan bersifat statis. Hasil keluaran dari serat optik penerima cahaya dideteksi oleh detektor CCD

Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat hubungan linear antara besaran keluaran detektor CCD dengan pergeseran memberikan korelasi linier ketelitian sebesar 0.994. Hubungan antara besaran keluaran CCD terhadap pergeseran, $y=0.0005x + 0.3196$, dimana y adalah keluaran CCD sedangkan x adalah pergeseran, Hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa serat optik dapat digunakan sebagai sensor pergeseran pada jangkauan pergeseran (985- 1260) μm

Kata kunci : Serat optik, Pergeseran, Tegangan keluaran detektor CCD

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah berkenan melimpahkan rahmat, barokah, karunia, serta maunah-Nya sehingga tanpa halangan yang berarti skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan pada junjungan, Nabi Muhammad SAW, yang telah berkenan memberi syafa'at hingga akhir zaman.

Penyelesaian skripsi dengan judul “ Pemanfaatan Detektor CCD Sebagai Piranti Sensor Pergeseran Mikro” , tidak lepas dari bimbingan , arahan, dan bantuan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Yang senantiasa penulis muliakan, orang tua penulis “ AMINAH & SARIFUDIN” dirumah yang telah memberikan dorongan moral, material dan doa yang tiada mungkin terbalaskan.
2. Bapak Drs. M. Yasin, M.Si, Selaku pembimbing I yang telah membantu penulis baik ilmu, tenaga, dan waktunya dalam menyelesaikan proposal 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 proposal skripsi ini.
4. Bapak Drs. Pujiyanto, M.S., selaku Kajar Fisika yang telah memberi kemudahan dalam penyusunan proposal 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. Saudara – saudaraku tercinta : Om Suhardjito, Om Anton, Tante Nasa, Tante kun, anggun, cahyo, risa, niken, novi, dian, yuli.
7. “My Aieren” HERI S.B” yang selalu memberikan perhatian, doa dan dukungan serta meluangkan waktu untuk menemani penulis setiap waktu.
8. Vivin Herdianti, Pujiono, Liro'id, Samsul Bakri, dik Deffi, dik Dessy, Febri, Tina, Henny, Asri, Mindo dan anak-anak WVI yang selalu memberikan semangat dan perhatian kepada penulis.
9. HIMAFI UA atas pengalaman organisasi penulis selama ini semoga tetap jaya dan abadi selalu.
10. Teman-teman Fisika Angkatan 99, 2000, 2001 dan mahasiswa FMIPA.
11. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu disini.

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 skripsi ini. Namun penulis berharap hasil karya ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

| | | |
|-------------------|---|------|
| LEMBAR JUDUL | | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | | ii |
| KATA PENGANTAR | | xi |
| DAFTAR ISI | | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | | xv |
| DAFTAR TABEL | | xvi |
| DAFTAR GRAFIK | | xvii |
| BAB I | PENDAHULUAN | |
| 1.1 | Latar Belakang | 1 |
| 1.2 | Batasan Masalah | 3 |
| 1.3 | Rumusan Masalah | 3 |
| 1.4 | Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 | Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II | TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. | Serat Optik | 5 |
| 2.1.1. | Serat Optik Indeks Bias Undak | 6 |
| 2.1.2. | Serat Optik berindeks bias berangsur | 7 |
| 2.1.2. | Serat Optik Ragam Banyak | 7 |
| 2.2. | Sensor CCD | 8 |
| 2.3. | Susut Daya Optik Karena Pergeseran Memanjang Sepanjang Sumbu Serat Optik | 9 |

| | | |
|----------------|---|----|
| 2.4. | Pendayagunaan Fenomena Susut Daya Optis | |
| | Sebagai Komponen Piranti Ukur Pergeseran | 17 |
| 2.5. | Aperture Numerik (NA) | 17 |
| 2.6. | Sumber Cahaya | 20 |
| BAB III | METODE PENELITIAN | |
| 3.1. | Tempat dan Waktu Penelitian | 22 |
| 3.2. | Bahan dan Alat Penelitian | 22 |
| 3.3. | Prosedur Penelitian | |
| 3.3.1. | Penentuan Karakteristik LED dan Detektor CCD | 24 |
| 3.3.2. | Penentuan Karakteristik Hubungan Antara Perubahan Tegangan Keluaran Detektor CCD Terhadap Pergeseran Serat Optik | 25 |
| 3.3.3. | Pengambilan Data | 27 |
| 3.4. | Analisis Data | 27 |
| BAB IV | HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| 4.1 | Hasil Penelitian | 29 |
| 4.2 | Pembahasan | 34 |
| BABV | KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 5.1 | Kesimpulan | 36 |
| 5.2 | Saran | 36 |
| | DAFTAR PUSTAKA | |
| | LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| Nomor | Judul Gambar | Halaman |
|--------------|--|----------------|
| 2.1 | Serat Optik Berindeks bias undak | 6 |
| 2.2 | Foto alat CCD | 9 |
| 2.3 | Penentuan Panjang ujung-ujung serat optik | 11 |
| 2.4 | Dua lingkaran dengan dua pusat terpisah | 14 |
| 2.5 | Pemisahan memanjang ujung serat optik dengan obyek | 16 |
| 2.6 | Sudut Kritis | 18 |
| 2.7 | Jalanya sinar pada serat optis | 19 |
| 2.8 | Untai LED | 20 |
| 3.1 | Menentukan karakteristik LED dan detector CCD | 24 |
| 3.2 | Eksperimen sensor pergeseran serat optik | 26 |

DAFTAR TABEL

| Nomor | Judul Tabel | Halaman |
|--------------|---|----------------|
| 4.1 | Data hasil pengukuran tanggapan fotodiode Terhadap besaran tegangan terbuka yang diberikan Penyedia daya pada LED | 30 |
| 4.2 | Data hasil pengukuran tanggapan detektor CCD Terhadap tegangan terbuka yang diberikan penyedia Daya pada LED | 30 |
| 4.3 | Data hasil pengukuran besaran tegangan fotodiode Terhadap besaran tegangan CCD | 31 |

DAFTAR GRAFIK

| Nomor | Judul Grafik | Halaman |
|--------------|---|----------------|
| 4.1 | Uji linearitasan besaran tegangan Fotodiode Terhadap tegangan terbuka yang diberikan Pada LED | 34 |
| 4.2 | Uji linearitasan besaran tegangan CCD terhadap Besaran tegangan terbuka yang diberikan pada LED | 34 |
| 4.3 | Uji linearitasan besaran tegangan Fotodiode Terhadap besaran tegangan CCD | 35 |
| 4.4 | Kurva efektif pada tegangan keluaran detektor CCD(v_0) terhadap pergeseran serat optik(Z) | 36 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Serat optik adalah suatu saluran transmisi gelombang elektromagnetik yang bahan pembuatannya dari bahan silika (SiO_2) yang merupakan suatu bahan *non electric* transparan . Cahaya dapat ditransmisikan melalui proses pemantulan dalam (*internal reflection*) yang berkesinambungan, oleh karena itu serat optis merupakan sarana yang baik untuk transmisi cahaya dari satu titik ke titik yang lain meskipun lintasannya berkelok-kelok. Serat optik memiliki rugi transmisi rendah, daya tahan yang tinggi, ringan dan mudah dibawa, tingkat akurasinya tinggi ,tidak dapat dipengaruhi oleh elektromagnetik serta frekuensi audio.

Serat optik dapat juga dimanfaatkan sebagai sensor pergeseran. Dengan keuntungan-keuntungan tersebut diatas serat optis dapat diaplikasikan dan dimanfaatkan untuk semua bidang telekomunikasi dan juga bidang optoelektronika, potensi pemakaian serat optis akan menjadi besar jika diikuti dengan usaha penelitian tentang serat optis secara intensif. Salah satu fenomena fisis tentang serat optis bila terpotong dan dipisahkan oleh jarak dapat dimanfaatkan untuk sensor pergeseran (Nurul Hudha, 2000).

Dengan ditemukannya serat optik, perkembangan pengetahuan dibidang optik mengalami kemajuan yang sangat pesat terutama dalam bidang komunikasi yang bisa menghubungkan dua komputer dengan jarak jauh. Aplikasi serat optik pada bidang-bidang tertentu yang sebelumnya sulit

dilakukan, saat ini sudah dapat dilakukan dengan menggunakan serat optik tersebut. Aplikasi serat optik pada dasarnya ada tiga macam, yaitu Sebagai penyalur cahaya atau citra, sebagai penyalur data dan sebagai sensor dalam instrumentasi (Gatot Yudoyono,1988).

Penelitian tentang pemanfaatan serat optik sebagai sensor pergeseran mikro telah dilakukan oleh Sigit Indro Widjojono (1998) dan Fajar Ardhi Setiawan (2004) dengan hasil terdapat hubungan linier antara besaran keluaran tegangan dengan pergeserannya, hasil korelasi yang didapatkan $R^2= 0.992$. Pada penelitian Sigit Indro Widjojono (1998) dan Fajar Ardhi Setiawan (2004) digunakan fotodiode sebagai detektor untuk mendeteksi perubahan intensitas cahaya melalui besaran keluaran tegangan akibat adanya pergeseran.

Penelitian yang dilakukan oleh Sigit Indro Widjojono (1998) dan Fajar Ardhi Setiawan (2004) mendeteksi perubahan intensitas cahaya dengan membaca perubahan besaran keluaran tegangan , sehingga perlu adanya mendeteksi perubahan intensitas cahaya secara langsung dengan menggunakan detektor CCD. Hal ini untuk mempermudah pembacaan besar kecilnya intensitas cahaya tanpa membaca perubahan besaran keluaran tegangan.

CCD umumnya menghasilkan gambar berkualitas tinggi dan noise yang rendah . Keuntungan yang lainnya CCD memiliki sensitiv tinggi 300 V/x.l.s (Volt/pixel.sekon) dengan ukuran pixel antara 7-200 μm , sehingga dapat menghasilkan distribusi gaussian yang baik, gambar berkualitas tinggi dan noise yang rendah.

Pada Pemanfaatan detektor CCD sebagai piranti sensor pergeseran, digunakan serat optik bundel berindeks bias undak dan ragam banyak. Serat optik berfungsi sebagai media transmisi cahaya yang keluar dari sumber cahaya dan hasil transmisinya dideteksi oleh detektor CCD dalam bentuk distribusi gaussian.

1.2 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pembahasan dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah yaitu serat optik yang digunakan adalah serat optik bundel berindeks bias undak dan ragam banyak tipe FD-620-10 Autonic corp dengan LED jenis super Bright $\lambda = 0.597\mu\text{m}$ sebagai sumber cahaya.

1.3 Rumusan Masalah

Dengan mengacu pada latar belakang masalah di atas maka permasalahan penelitian yang dilakukan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apakah detektor CCD dapat digunakan sebagai piranti sensor pergeseran ?
2. Apakah ada hubungan yang linier antara besaran keluaran detektor CCD terhadap pergeseran obyek ?
3. Berapa rentang pergeseran yang dapat diukur dan kemampuan pendeteksian sistem sensor pada penelitian ini ?

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Memanfaatkan CCD sebagai piranti detektor pada pengukuran pergeseran mikro
2. Mengungkapkan bagaimana hubungan antara besaran keluaran detektor CCD dengan pergeseran.
3. Menentukan rentang pergeseran yang dapat diukur dan kemampuan pendeteksian sistem sensor .

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang cukup besar pada pengembangan instrumentasi dalam bidang komunikasi serta beberapa penelitian fisika serta memberikan informasi bahwa detektor CCD dapat digunakan sebagai sensor pergeseran kearah sumbunya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serat Optik

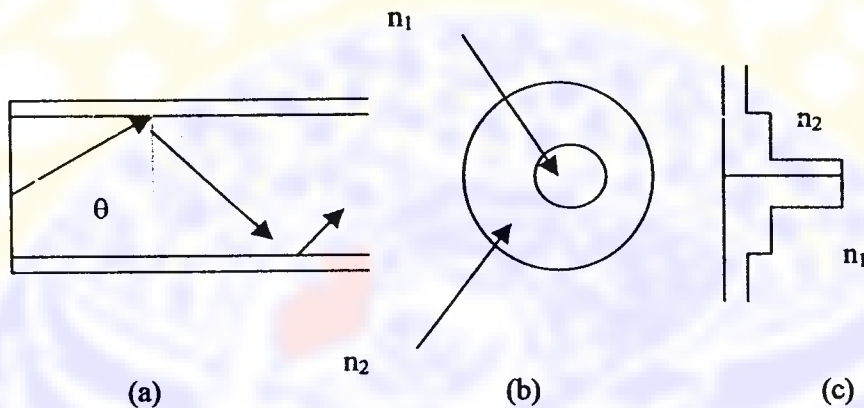
Serat optik adalah saluran transmisi berkas cahaya yang terbuat dari bahan gelas silika berdiameter dalam orde mikrometer. Struktur serat optik terdiri dari bagian dalam yang disebut teras dengan indeks bias n_1 , diselubungi bahan yang disebut selubung dengan indeks bias n_2 yang nilainya lebih kecil dibandingkan n_1 dan dilindungi dengan jaket. Dengan komposisi serat optis semacam ini, cahaya yang membaur keluar dari inti akan selalu dipantulkan kembali ke tengah inti. Dengan demikian serat optis berfungsi sebagai pemandu cahaya (*wave -guide*) yang melaluinya .

Transmisi cahaya dari suatu sumber cahaya melalui serat optis ke detektor memiliki beberapa rugi transmisi antara lain rugi penggandengan dari sumber cahaya ke serat optis, rugi karena serapan bahan di dalam serat optis, rugi hamburan oleh bahan di dalam serat optis, rugi penggandengan dari serat optis ke detektor optis dan rugi karena posisi lengkungan serat optis.

Berdasarkan profil indeks biasnya, serat optik dibedakan menjadi dua yaitu serat optik berindeks bias undak (*step index*) dan serat optik berindeks bias landai (*graded index*). Sedangkan berdasarkan profil cacah ragam yang dapat dipandu, serat optik 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 bias undak terdiri atas teras berindeks bias n_1 , dikelilingi selubung berindeks bias n_2 . Gambar (2.1) memperlihatkan struktur serat optik indeks bias undak.



Gambar 2.1 Serat optik berindeks bias undak (a) Penampang bujur (b) Penampang lintang (c) Profil indeks bias (Kaiser, 1984)

Pemanduan penuh dalam serat optik indeks bias undak mensyaratkan bahwa pantulan θ harus lebih besar atau sama dengan sudut kritis θ_c . Sudut kritis untuk serat optik indeks bias undak diberikan oleh persamaan berikut:

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1 \dots\dots\dots(1)$$

dimana n_2 adalah indeks bias selubung dan n_1 adalah indeks bias teras. Agar transmisi efisiensi, teras (n_1) dan selubung (n_2) harus bebas rugi, maka cahaya tidak hanya berjalan didalam teras, tetapi juga di dalam selubung dalam bentuk gelombang memutar. Bila selubung tidak menyerap, maka cahaya tidak hilang, tetapi berjalan sepanjang serat. Medan yang memutar ini

menyusut dengan cepat sehingga tidak ada cahaya sampai di titik selubung bila tebal selubung beberapa puluh mikron. Selubung n_1 diperlukan untuk melindungi teras terhadap goresan, tekanan dan pencemaran yang dapat menimbulkan rugi tambahan.

Serat optik indeks bias unak mempunyai tiga bentuk : 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. Hal ini disebabkan oleh rentang indeks bias yang tersedia pada kaca terbatas dibandingkan pada plastik (Thomas Sri Widodo, 1995).

2.1.2 Serat optik berindeks bias berangsur

Serat berindeks bias berangsur mempunyai bahan teras dengan indeks bias sumbu teras besar kemudian indeks biasnya sama dengan kulit.

Perubahan indeks bias mengakibatkan sinar akan terus menerus diarahkan kembali menuju sumbu serat mengalami Perubahan kontiyu .

2.1.3 Serat optik ragam banyak

Pada serat optik indeks bias unak maupun indeks bias landai 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 (Kaiser, 1984). 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 bias undak, cacah ragam yang dapat dipandu sebesar $\frac{V^2}{2}$ (Snyder and Love, 1983).

2.2 Sensor CCD (*Charge Coupled Devices*)

CCD terdiri dari:

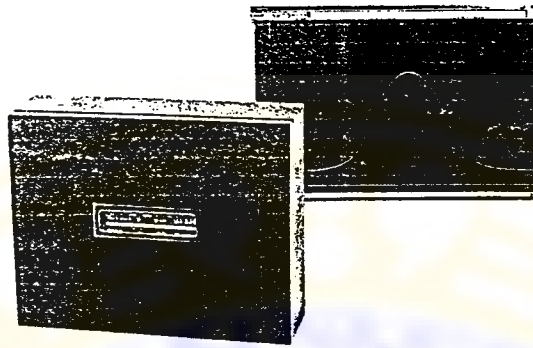
Interface Box., Line Camera Head , Power Cord, Paralel Port Cable dan Interface Cable dan Softwer.

.CCD memberikan proses khusus yang dilakukan pada saat pengambilan gambar, mengonsumsi tenaga yang besar.

Satu keuntungan utama dari suatu CCD adalah bahwa bersifat linier dalam tanggapan terhadap nilai masukan dengan nilai keluaran.

Keuntungan yang lainnya nomer efektif pixel adalah 3000 pixel dengan daya tunggal 5 Volt, ukuran pixel antara 7-200 μm dan sensitiv tinggi 300V/xl.s(Volt/pixel.sekon) serta frekuensi 100kHz – 1 MHz, sehingga dapat menghasilkan distribusi gaussian yang baik.

Pada gambar 2.2 merupakan foto alat CCD yang dapat menghasilkan distribusi gaussian yang baik sehingga bisa membaca besaran intensitas secara langsung.



Gambar 2.2 Foto alat CCD linier

Dengan standar kabel paralel untuk CPU kecepatan 500 MHz, maka CCD akan bisa bekerja.

Keuntungan dari pemakaian CCD sebagai sensor adalah:

1. Dapat memberikan hasil pengamatan dengan resolusi yang baik.
2. Memiliki tanggapan yang sesuai dengan intensitas penyinaran.

2.3 Susut Daya Optis Karena Pergeseran Memanjang Sepanjang Sumbu 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.

Transmisi cahaya dari suatu sumber cahaya melalui serat optis ke detektor optis memiliki beberapa rugi transmisi, antara lain;

- a). Rugi penggandengan (*coupling*) dari sumber cahaya ke serat optis.
- b). Rugi karena serapan bahan dalam serat optis.
- c). Rugi hamburan cahaya oleh bahan didalam serat optis.
- d). Rugi penggandengan (*coupling*) dari serat optis ke detektor optis.
- e). Rugi karena posisi lengkungan serat optis.

Kerugian dapat dirinci dalam beberapa bagian seperti persamaan (2)

$$A_{\lambda} + R_{\lambda} + T_{\lambda} = 1 \dots\dots\dots(2)$$

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 (3) berikut:

$$T = T_0 e^{-\alpha x} \dots\dots\dots(3)$$

dengan T = energi yang ditransmisikan melintasi serat sepanjang x

T_0 = energi pada awal penyambungan

α = koefisien penyerapan bahan

x = jarak tempuh dalam bahan

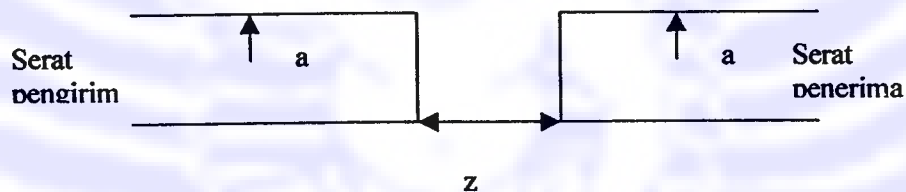
persamaan (3) dikenal sebagai hukum Lambert.

Kerugian energi pada serat akibat penyerapan, hamburan dan sebagai dinyatakan dalam bentuk persamaan (4) berikut:

$$Re\ daman = \left(\frac{10}{L}\right) \log\left(\frac{energikeluaran}{energimasukan}\right) \dots\dots\dots(4)$$

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

Dalam sensor pergeseran, rugi daya serat optik meliputi beberapa hal antara lain seperti kerugian pada pemisahan ujung dari serat optik (kerugian ekstrinsik). Maka yang dihitung adalah kerugian yang terjadi di daerah ujung pada dua serat optik tunggal berindeks bias undak yang dipisahkan.



Gambar 2.3. Pemisahan memanjang ujung-ujung berhadapan serat optik sepanjang sumbunya (Kaiser,1984)

Serat optik pada gambar (2.3) merupakan serat optik tunggal berindeks bias undak yang dipisahkan. Serat optik yang pertama berfungsi sebagai serat yang memancarkan cahaya dari sumber cahaya, sedangkan serat optik kedua berfungsi sebagai penerima cahaya dari serat yang pertama. Gambar diatas juga menunjukkan bahwa kedua serat optik tersebut mempunyai jari-jari inti sebesar a dan jarak antara kedua ujungnya (gap) sejauh z.

Koordinat ruang phase merupakan piranti matematis untuk menjabarkan radiasi yang dipancarkan oleh sebuah sumber radiasi yang diterima oleh komponen piranti optis (misalnya, serat optik) (Van Etten and Van der Platte, 1991).

Kerapatan sinar cahaya F_1 , pada permukaan ujung serat optik pemancar beruji a (gambar 2.3) dalam ungkapan ruang phase adalah:

$$F_1 [x,y,u,v] = L P_\alpha \left(\sqrt{x^2 + y^2} \right) P_T (W) \frac{2\pi w}{(1+w^2)^2} \dots\dots\dots (5)$$

$P_\alpha \left(\sqrt{x^2 + y^2} \right)$ dan $P_T (W)$ pada persamaan (5) didefinisikan sebagai berikut :

$$P_\alpha \left(\sqrt{x^2 + y^2} \right) \equiv \begin{cases} 1 & \text{untuk } 0 \leq \sqrt{x^2 + y^2} \leq a \\ 0 & \text{untuk } \sqrt{x^2 + y^2} > a \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

$$P_T (w) = \begin{cases} 1 & \text{untuk } 0 \leq w \leq T \\ 0 & \text{untuk } w > T \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

dengan $T = \frac{A(r)}{\sqrt{1 - A^2(r)}}$, $A(r) = NA \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^\alpha}$ = tingkat numerik

lokal (tingkap numerik pada ruji teras r), $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ = tingkap numerik pada posisi sumbu serat optis dan α = parameter yang mencirikan bentuk agihan indeks bias teras (Keiser, 1983).

Sinar cahaya pada permukaan serat optik penerima dicirikan oleh koordinat ruang phase ($x + uz, y + vz, u, v$). Kerapatan sinar cahaya F_2 pada ujung permukaan serat penerima adalah sebagai berikut :

$$F_2(x,y,u,v) = F_1(x + uz, y + vz, u, v) P_\alpha \left(\sqrt{x^2 + y^2} \right) P_T(w) \quad \dots (8)$$

$$= 2\pi L P_\alpha \left(x^2 + y^2 \right) P_\alpha \left(\sqrt{(x+uz)^2 + (y+vz)^2} \right) P_T(w) \frac{w}{(1+w^2)^2}$$

Daya optis total P_1 yang dipancarkan oleh ujung permukaan serat optik dapat dihitung nilainya dengan mengintegalkan persamaan (8) untuk $z = 0$. Hasil pengintegralan memberikan penyelesaian berikut ini :

$$P_1 = \pi^2 a^2 L [NA]^2 \left[\alpha / (\alpha + 2) \right] \dots \dots \dots (9)$$

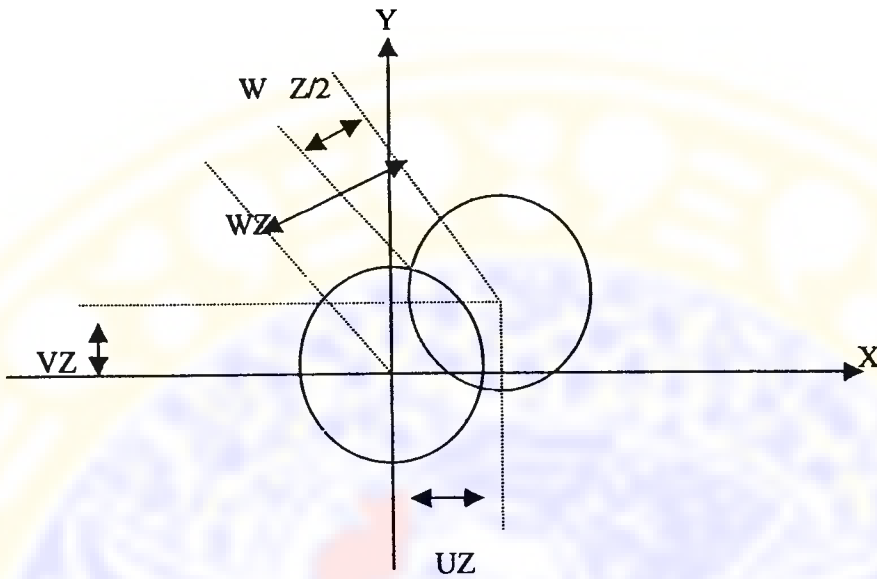
Untuk serat optik indeks bias undak $\alpha \rightarrow 0$ (Gloge and Marcetili, 1973), sehingga persamaan (9) disederhanakan menjadi :

$$P_1 = \lim_{\alpha \rightarrow \chi} \pi^2 a^2 L [LN]^2 \left[\alpha / (\alpha + 2) \right] = \pi^2 a^2 L [LN]^2 \dots \dots \dots (10)$$

Daya optis total P_2 yang diterima oleh permukaan ujung serat penerima dihitung dengan mengintegalkan persamaan (10), yaitu sebagai berikut

$$P_2 = \iiint_{x y w} 2\pi L P_\alpha \left(\sqrt{x^2 + y^2} \right) P_\alpha \left(\sqrt{(x+uz)^2 + (y+vz)^2} \right) P_T(w) \frac{w}{(1+w^2)^2} dx dy dw =$$

$$2\pi L \int_w \left\{ \underbrace{\iint_{xw} P_\alpha \left(\sqrt{x^2 + y^2} \right) P_\alpha \left(\sqrt{(x+uz)^2 + (y+vz)^2} \right) dx dy}_I \right\} \left\{ P_T(w) \frac{w}{(1+w^2)^2} \right\} (11)$$



Gambar 2.4
 Dua lingkaran dengan pusat terpisah sejauh wz yang digunakan untuk menentukan integral rangkap dua pada persamaan (10)

Integral rangkap dua pada persamaan (11) yang ditandai dengan I, dapat didefinisikan sebagai luasan tumpang tindih dua lingkaran berjari a yang pusatnya digeser pada jarak : UZ dalam arah X dan VZ dalam arah Y (gambar 2.4), yang nilainya adalah :

$$I = 2\alpha^2 \left[\arccos\left(\frac{zw}{2a}\right) - \frac{zw}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{zw}{2a}\right)^2} \right] \dots\dots\dots(12)$$

Bila persamaan (12) disubsitusikan ke persamaan (11), maka diperoleh hasil sebagai berikut :

$$P_2 = 4\pi L \alpha^2 \int_0^T \left[\arccos\left(\frac{zw}{2a}\right) - \frac{zw}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{zw}{2a}\right)^2} \right] \frac{w}{(1+w^2)^2} dw \dots\dots\dots(13)$$

dengan $T = \frac{A(r)}{\sqrt{1 - A^2(r)}}$

Untuk nilai $\frac{Z}{a} \ll 1$, maka $\text{arc Cos} (zw/2a) \cong \pi/2$ dan $\frac{zw}{2a} \sqrt{1 - \left(\frac{zw}{2a}\right)^2} \cong \frac{zw}{2a}$,

sehingga persamaan (13) dapat didekati sebagai berikut :

$$P_2 = \pi^2 La^2 (NA)^2 - 2\pi La \frac{z}{2} \left\{ \arctan \frac{NA}{\sqrt{1 - (NA)^2}} - NA \sqrt{1 - (NA)^2} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

Untuk nilai $NA \ll 1$, maka $\text{arc tan} \frac{NA}{\sqrt{1 - (NA)^2}} \cong \text{arc Sin} (NA)$, sehingga

persamaan (14) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_2 = \pi^2 La^2 (NA)^2 - 2\pi La \frac{z}{2} \left\{ \text{arc Sin} (NA) - NA \sqrt{1 - (NA)^2} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

Dari syarat batas pada persamaan (13) yaitu $\frac{Z}{a} \ll 1$, dan syarat batas untuk

mendapatkan persamaan (14) $NA \ll 1$, maka persamaan (15) dapat

dinyatakan dengan syarat batas $\frac{Z(NA)}{a} \ll 1$.

Karena $\text{arc Sin} (NA) = \int \frac{d(NA)}{\sqrt{1 - (NA)^2}}$, maka persamaan (15) dapat ditulis

dalam bentuk lain :

$$P_2 = \pi^2 La^2 (NA)^2 - \pi La z \left\{ \int \frac{d(NA)}{\sqrt{1 - (NA)^2}} - NA \sqrt{1 - (NA)^2} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

Dengan melakukan penderetan terhadap integrand dan suku terakhir pada

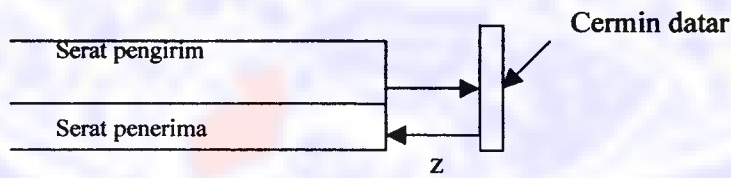
persamaan (16), maka persamaan tersebut dapat didekati sebagai berikut :

$$P_2 \cong \pi^2 La^2 (NA)^2 - \pi La \left\{ \frac{4}{6} (NA)^3 \right\} \dots\dots\dots (17)$$

Nisbah antara daya optis P_2 dan P_1 nilainya dapat diperoleh dengan membagi persamaan (17) dengan persamaan (9) dan hasilnya adalah sebagai berikut :

$$\frac{P_2}{P_1} = \eta = \left[1 - \frac{4}{3\pi} (NA) \frac{Z}{d} \right] \dots\dots\dots (18)$$

dengan $d = 2a$ adalah diameter teras serat optik, η adalah efisiensi serat optik. Berdasarkan pernyataan matematis persamaan (18), secara teoritis hubungan antara efisiensi serat optik dan Z adalah fungsi linier. Pada persamaan (18) hanya berlaku pada susut daya optis Pada ujung-ujung serat optis karena pergeseran memanjang sepanjang sumbu serat optik.



Gambar 2.5. Pemisahan memanjang ujung Serat optik dengan obyek (Kaiser, 1984)

Pada penelitian ini sistem pergeseran yang digunakan adalah berupa dua serat optik berjajar dan menghadap cermin (seperti gambar 2.5). Daya yang keluar dari serat penerima digunakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P(k) = k^2 \rho P_{in} \bar{P}(k) \bar{A}(k) \dots\dots\dots (19)$$

Dimana: $P(k)$: Daya yang keluar ; $\bar{A}(k)$: Luasan

P_{in} : Daya yang masuk

ρ : nilai reflektivitas

$\bar{P}(k)$: daya yang diterima cahaya

k : nilai transmisi

2.4 Pendayagunaan Fenomena Susut Daya Optis Sebagai Komponen Piranti Ukur Pergeseran

Pada persamaan (19) dapat diketahui bahwa secara teoritis pelimpahan daya optis antara obyek (cermin datar) dengan pergeseran mengalami penyusutan. Untuk mendayagunakan fenomena tersebut, maka data yang dihasilkan dari pergeseran obyek (cermin datar) dengan serat optis seperti pada gambar 2.5 sebagai fungsi susut daya optis harus diuji tentang kaitan kelinieratasanya antara P terhadap Luasan $\bar{A}(k)$.

2.5 Aperture Numerik (NA)

Bila seberkas cahaya jatuh pada permukaan batas antara medium yang mempunyai indeks bias yang berbeda, maka akan terjadi proses pemantulan dan pembiasan. Pada kondisi tertentu dimana medium pertama mempunyai indeks bias lebih besar dibandingkan medium kedua, maka ada kemungkinan akan terjadi pemantulan sempurna. Syarat lain yang harus dipenuhi adalah sudut datang harus lebih besar atau sama dengan sudut kritis. Yang dimaksud sudut kritis adalah sudut datang sinar pada permukaan batas dua medium yang mengakibatkan sinar terbias dengan sudut 90° terhadap garis normal.

Dengan memperhatikan gambar 2.1 sudut kritis dapat diperoleh dengan menjabarkan rumus snellius

$$n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta'$$

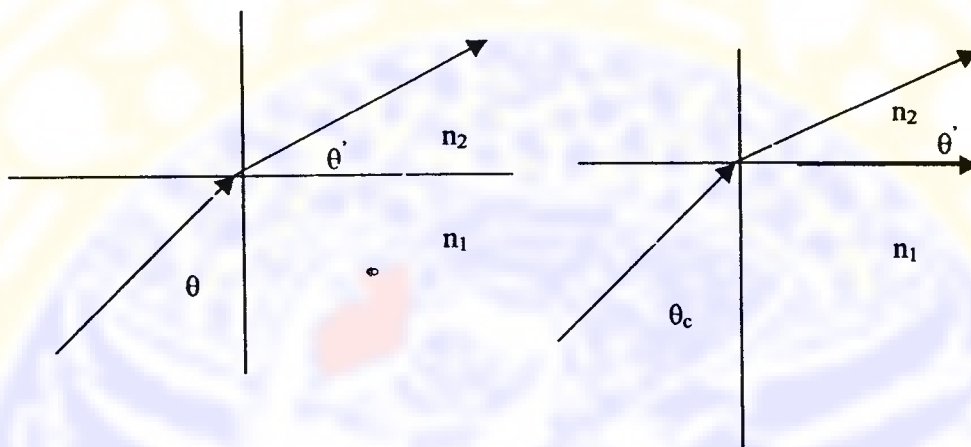
bila $\theta' = 90^\circ$, maka;

$$n_1 \sin \theta_c = n_2$$

$$\sin \theta_c = n_2/n_1$$

$$\theta_c = \sin^{-1} (n_2/n_1) \dots \dots \dots (20)$$

θ_c menyatakan sudut kritis, n_1 indeks bias medium pertama, n_2 indeks bias medium kedua



gambar 2.6. sudut kritis

Dalam serat optis dikenal dua jenis sinar, pertama sinar meridional , yaitu sinar yang merambat dalam bidang perambatan yang sama.

Jenis kedua yaitu sinar skew yang mempunyai arah perambatan zig-zag, seperti arah perputaran sekrup.

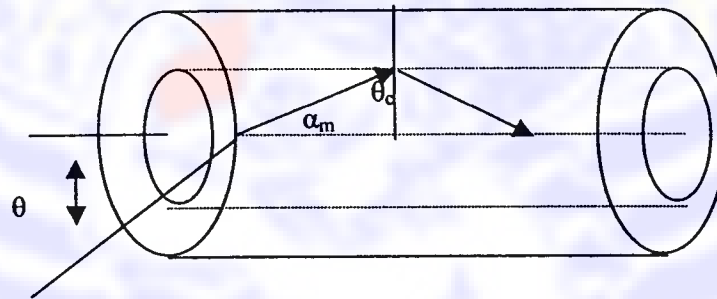
Berkas cahaya yang jatuh ada ujung serat optis dari medium dengan indeks bias n_0 dengan sudut datang α_m terhadap sumbu serat, cahaya tersebut akan dibiaskan oleh ujung serat, kemudian akan dipantulkan sempurna pada batas antar dua serat, bila sudut datang lebih besar atau sama dengan sudut kritis (θ_c). Dengan menggunakan hokum Snellius, didapatkan hubungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 n_0 \sin \alpha_m &= n_1 \sin \alpha_m' \\
 &= n_1 \cos \theta_c \\
 &= n_1 (1 - \sin^2 \theta_c) \dots\dots\dots(21)
 \end{aligned}$$

dengan substitusi persamaan (19) pada persamaan (20) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 n_0 \sin \alpha_m &= n_1 [1 - (n_2/n_0)^2]^{1/2} \\
 &= (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \dots\dots\dots(22)
 \end{aligned}$$

ruas kiri pers (21) dikenal sebutan Aperture Numerik (NA) dari serat optis



gambar 2.7. jalannya sinar pada serat optis

Aperture Numerik yang didapatkan diatas berlaku untuk cahaya yang masuk serat optis berjenis meridional dan dalam serat optis ideal. Maksudnya tidak ada proses absorpsi dan hamburan yang menghalangi perambatan cahaya tersebut.

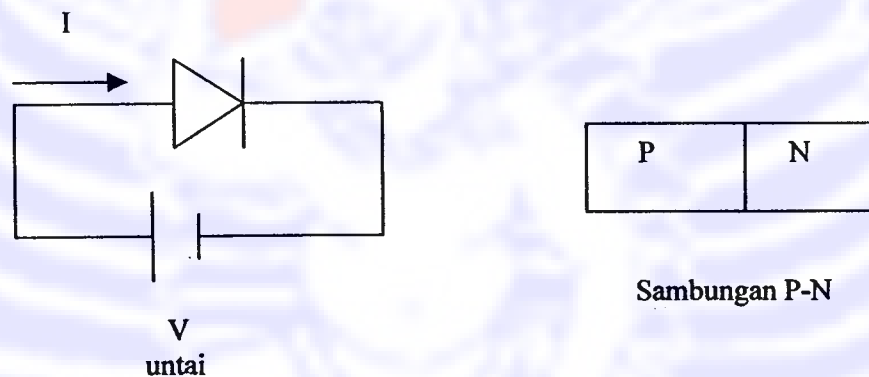
Rentang nilai NA dari suatu serat hanya dibatasi oleh bahan pembuat serat indeks bias teras dan selubung yang digunakan. Aperture Numerik serat optis berhubungan dengan sudut masuk cahaya pada sisi ujung serat. Semakin besar nilai NA, semakin lebar sudut datang yang diperbolehkan untuk menghasilkan pemantulan dalam total pada dinding batas teras-selubung. Sehingga cahaya yang ditransmisikan dapat sampai pada ujung-ujung serat

yang lain. Semakin besar indeks bias teras serat optis, semakin besar nilai NA (Yudoyono,1988).

2.6 Sumber Cahaya

Sumber cahaya dalam serat optik bekerja sebagai pemancar cahaya yang membawa informasi. Dalam penelitian ini digunakan sumber cahaya berupa Diode Pancar Cahaya (LED).

Diode pancar cahaya atau sering disebut LED (*Light Emitting Diode*) adalah suatu semikonduktor sambungan p-n yang memancarkan cahaya apabila diberi arus maju ,seperti terlihat pada gambar (2.7)



Gambar 2.8. Untai LED

Cara kerja LED adalah sebagai berikut:

Semikonduktor tipe-n memiliki sejumlah elektron bebas, sedangkan semikonduktor tipe-p memiliki sejumlah lubang bebas. Jika semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p disambungkan akan terbentuk suatu penghalang energi. Baik lubang maupun elektron bebas tidak memiliki cukup energi untuk melewati penghalang tersebut untuk berekombinasi. Apabila diberikan suatu tegangan maju, maka besarnya penghalang energi

akan turun, sehingga elektron bebas dan lubang bebas akan memiliki cukup energi untuk berpindah melewati sambungan. Jika elektron bebas dan lubang bebas tadi bertemu, maka elektron akan turun kebidang valensi dan kemudian akan berekombinasi dengan lubang bebas tersebut.

Dengan bahan dan campuran yang berbeda-beda dapat diperoleh energi celah bidang yang berbeda-beda pula sehingga diperoleh LED dengan beragam panjang gelombang.

Ada dua macam sambungan p-n, yaitu:

1. *Homojunction* (sambungan sejenis)
2. *Heterojunction* (sambungan lain jenis)

Diode *Homojunction* adalah diode dengan sambungan p-n berbahan semikonduktor sejenis. Cahaya yang dihasilkan LED ini bersifat menyebar sehingga membuat penyaluran cahaya ke serat optik yang berukuran kecil menjadi tidak efisien.

Diode *Heterojunction* adalah diode dengan sambungan p-n berbahan semikonduktor yang berlainan. Bahan-bahan penyusunnya memiliki energi bidang dan indeks bias yang berlainan. Perbedaan celah bidang membentuk penghalang potensial bagi lubang dan electron. Muatan-muatan bebas hanya dapat berekombinasi pada lapisan aktif tertentu yang sempit. Lapisan aktif ini mempunyai indeks bias yang lebih tinggi daripada lapisan dikedua sisinya sehingga terbentuk pemandu gelombang optik. Pemantulan sudut kritis mengakibatkan proton tetap didaerah aktif, menciptakan suatu daerah kecil dengan intensitas tinggi dan pemancaran yang terbatas ini memperbaiki efisiensi penyambungan, khususnya untuk serat optik yang berukuran kecil.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Eksperimen Fisika Optik dan Aplikasi Laser, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Airlangga Surabaya selama 6 bulan, dari bulan Februari 2005 sampai bulan Juni 2005.

3.2. Bahan dan Alat Penelitian

1. Diode Pancar Cahaya (*LED*)

Berfungsi sebagai sumber cahaya pada system transmisi sinyal pergeseran. LED yang digunakan jenis *Super Bright*.

2. Serat optik bundel berindeks bias undak dan ragam banyak

Serat optik yang digunakan adalah dua serat optik tunggal berindeks bias undak ragam banyak tipe FD-620-10 Autonic Corp, Korsel, yang memiliki dua buah serat, serat pertama sebagai pemancar dan serat optik kedua sebagai penerima berkas.

3. Penyedia daya (*Power supply*)

Sebagai alat untuk menghasilkan tegangan arus dc. Besaran tegangannya 3V, 6V, 7,5V, 9V, 12V, 13,8V.

4. Mikrometer posisi

Berfungsi untuk mengukur perubahan jarak pisah dua ujung srat optik (z) dengan skala terkecil 0,01 mm. Untuk memperhalus putaran, micrometer posisi dihubungkan dengan motor yang disebut penghalus putaran

(*reducer*). Setiap satu putaran *reducer*, dapat menggeser micrometer posisi sejauh 5 mikrometer.

4. Detektor

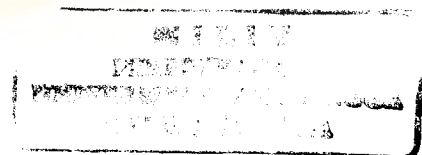
Sebagai pendeteksi gelombang cahaya yang datang dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Detektor yang digunakan adalah detector CCD dengan tipe ILX526A-3000 pixel.

5. Obyek

Bentuk obyek adalah cermin datar.

6. Komputer

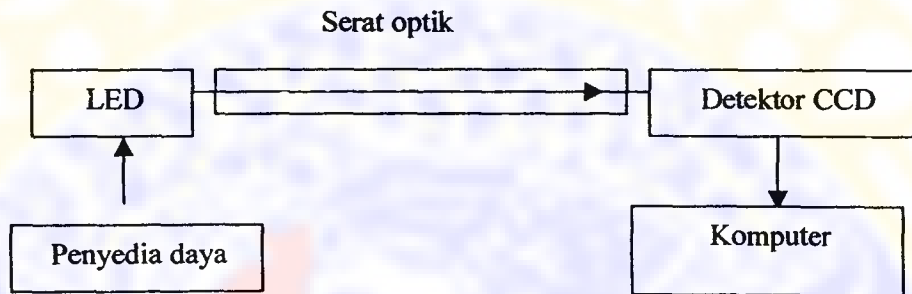
Digunakan untuk menunjukkan hasil keluaranya, Windows 2000, kecepatan lebih dari 500MHZ



3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Penentuan Karakteristik LED dan Detektor CCD

Penentuan karakteristik LED dan detektor CCD dapat dilakukan dengan cara seperti pada gambar (3.1)



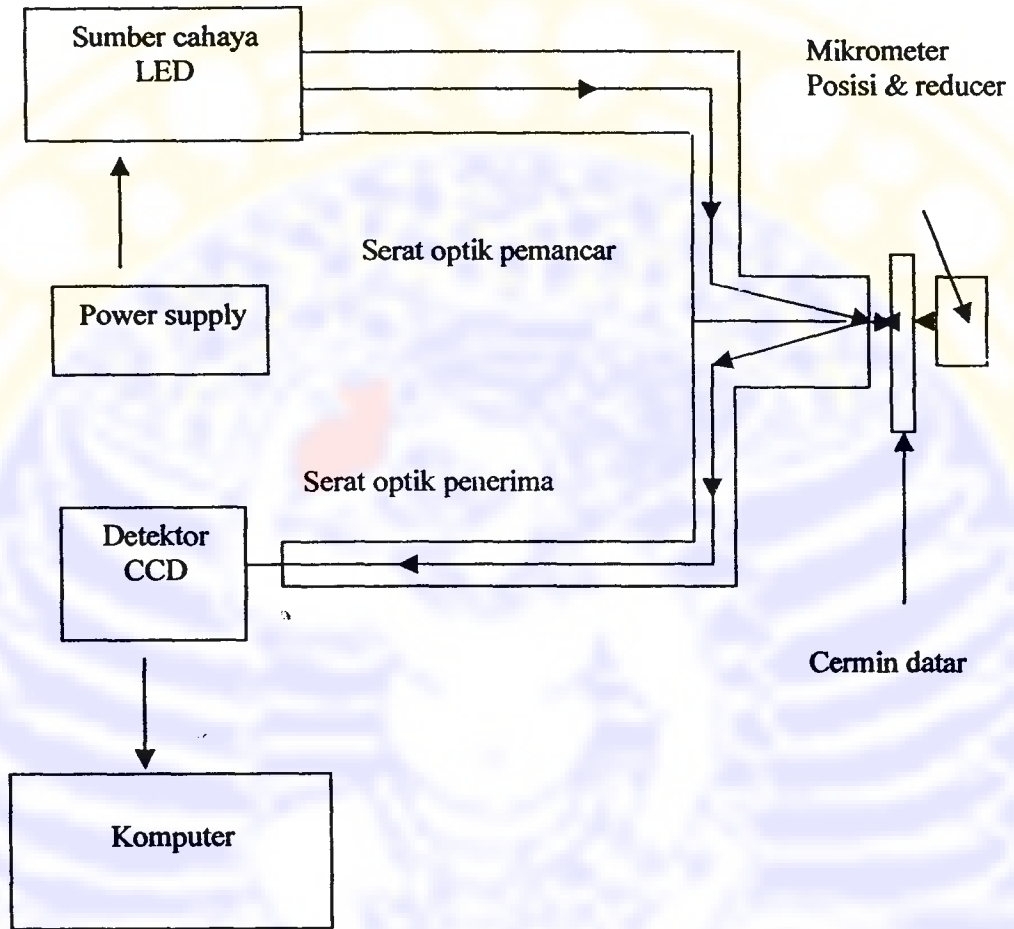
Gambar 3.1. Skema susunan alat untuk menentukan karakteristik LED dan detektor CCD

Sumber cahaya LED dihubungkan dengan penyedia daya yang tegangan keluarannya (tegangan panjar) dapat divariasikan. Variasi tegangan panjar ini menyebabkan perubahan tegangan keluaran detektor CCD.

Agar sistem sumber cahaya LED dan detektor CCD dapat digunakan dalam sistem sensor serat optik, maka tegangan keluaran detektor CCD harus merupakan fungsi linier terhadap tegangan panjar penyedia daya sumber cahaya LED.

3.3.2. Penentuan Karakteristik Hubungan antara Perubahan tegangan keluaran detektor CCD terhadap Pergeseran Serat Optik

Mengukur pergeseran obyek dengan serat optik seperti gambar (3.2). Dalam skema eksperimen tersebut, sumber cahaya LED dihubungkan dengan penyedia daya yaitu alat untuk menghasilkan tegangan arus dc dan sinar yang dihasilkan dari LED dilewatkan kedalam serat optik pemancar dan dipantulkan oleh cermin datar yang bertindak sebagai obyek yang akan diukur pergeserannya. Pengaturan pergeseran obyek dilakukan dengan menggeser obyek (cermin datar) yang menggunakan mikrometer posisi dan reducer dengan step pergeseran 5 mikrometer. Sinar yang dipantulkan oleh obyek ditangkap oleh serat optik penerima dan selanjutnya sinar ini dideteksi oleh detektor CCD dan kemudian tegangan keluarannya dibaca di komputer dalam bentuk distribusi intensitas dengan ini kita menggunakan program dalam software yang dapat diatur agar keluarannya sesuai yang kita harapkan . Detektor CCD terhadap pergeseran obyek, bila keluaran detektor CCD merupakan fungsi linear terhadap pergeseran obyek, maka sistem sensor pergeseran yang telah di susun dapat dipakai sebagai piranti ukur pergeseran suatu obyek dengan orde mikrometer.



gambar 3.2. Skema eksperimen sensor pergeseran serat optik

3.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dituliskan dalam bentuk tabel dan dalam tiga tahap. Tahapan-tahapan pengambilan datanya yaitu:

1. Data yang diambil untuk menentukan karakteristik LED dan detektor CCD yaitu data berupa besaran tegangan pada LED (V_s) dan besaran keluaran CCD (V_0).
2. Data yang diambil untuk menentukan karakteristik hubungan besaran keluaran detektor CCD (V_0) terhadap pergeseran serat optik (z)

3.4. Analisa Data

Pada penentuan karakteristik LED dan CCD dicatat hubungan antara besaran keluaran CCD (V_0) terhadap besaran tegangan pada LED (V_s). Dari hubungan tersebut didapatkan persamaan regresi linear:

$$V_0 = a + b(V_s) \dots\dots\dots(3.1)$$

a adalah konstanta dan b adalah nilai kemiringan (*slope*) besaran keluaran CCD (V_0) terhadap besaran tegangan pada LED (V_s).

Untuk menguji hasil data penelitian ini, digunakan program SPSS sebagai uji statistik untuk menentukan kelinearitasannya. Model kelinearitasan tersebut dikatakan baik jika korelasi antara variabel terikat (V_s) dengan variabel bebas (V_0) mendapatkan nilai koefisien linear (R) mendekati 1.

Pada penentuan karakteristik besaran keluaran detektor CCD (V_0) terhadap pergeseran serat optik (z) didapatkan persamaan regresi linear:

$$V_0 = a + bz \dots\dots\dots(3.2)$$

V_0 adalah besaran keluaran detector CCD, a adalah konstanta, b adalah kemiringan (slope) dari hubungan antara besaran tegangan keluaran detector CCD terhadap terhadap jarak pergeseran serat optik, dan z adalah jarak pergeseran serat optik.

Pada penentuan karakteristik ini dicari daerah efektif besaran keluaran detector CCD (V_0) terhadap pergeseran serat optik (z) untuk mendapatkan nilai persamaan regresi linear yang baik .

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian pemanfaatan detektor CCD sebagai piranti sensor pergeseran mikro ini telah dilakukan sesuai dengan tahapan kerja seperti yang diuraikan dalam metode penelitian. Adapun langkah kerja yang pertama adalah penentuan karakteristik LED dan detektor CCD. Untuk awalnya dilakukan ketelitian penentuan karakteristik LED dan fotodiode. Dalam hal ini dicatat tegangan keluaran fotodiode terhadap besaran tegangan pada LED. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari fotodiode akan digunakan untuk kalibrasi pada keluaran detektor CCD karena keluaran dari detektor CCD berupa distribusi intensitas. Pada pengukuran besaran tegangan keluaran fotodiode dilakukan pengambilan data sebanyak empat kali dan hasilnya dirata-rata ditunjukkan dalam tabel (4.1) dan pengukuran besaran keluaran detektor CCD dilakukan pengambilan data sebanyak empat kali dan hasilnya dirata-rata ditunjukkan dalam tabel (4.2). Kemudian data dari detektor CCD maupun dari tegangan keluaran fotodiode terhadap tegangan pada LED diregresikan untuk mengetahui berapa korelasi linear dan bersifat linear atau tidak. Kemudian jika diketahui data itu linear maka dilakukan regresi antara besaran keluaran CCD terhadap besaran tegangan keluaran fotodiode untuk mengetahui nilai dari besaran CCD terhadap besaran tegangan keluaran fotodiode sehingga memudahkan mencari besaran CCD dari persamaan

linier yang dibentuk oleh besaran CCD terhadap besaran tegangan fotodiode yang ditunjukkan dalam tabel (4.3)

Tabel 4.1 Data hasil pengukuran tanggapan fotodiode terhadap besaran tegangan pada LED

| V_s (mV) | V_{01} (mV) | V_{02} (mV) | V_{03} (mV) | V_{04} (mV) | V_0 (mV) |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| 3 | 0.168 | 0.182 | 0.181 | 0.189 | 0.180 |
| 6 | 0.443 | 0.454 | 0.414 | 0.443 | 0.439 |
| 7.5 | 0.806 | 0.813 | 0.818 | 0.803 | 0.810 |
| 9 | 1.154 | 1.174 | 1.228 | 1.293 | 1.20 |

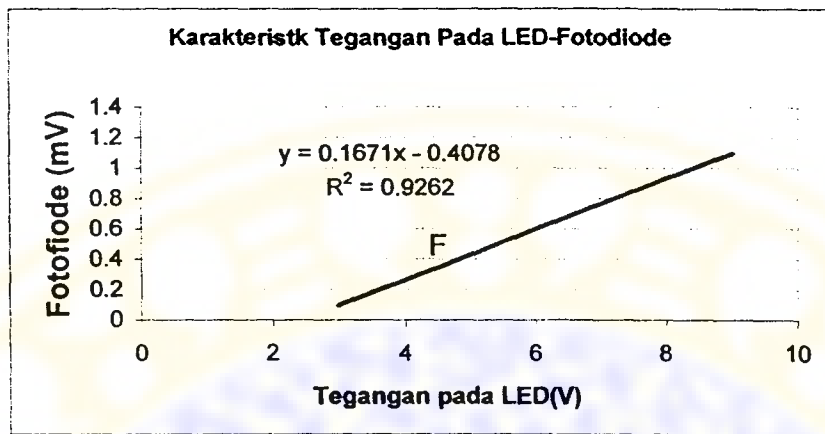
Tabel 4.2 Data hasil pengukuran tanggapan detektor CCD terhadap besaran tegangan pada LED

| V_s (mV) | V_{01} | V_{02} | V_{03} | V_{04} | V_0 |
|------------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 3 | 255 | 265 | 254 | 261 | 258.8 |
| 6 | 319 | 322 | 323 | 322 | 321.5 |
| 7.5 | 553 | 545 | 526 | 528 | 538 |
| 9 | 641 | 624 | 622 | 625 | 628 |

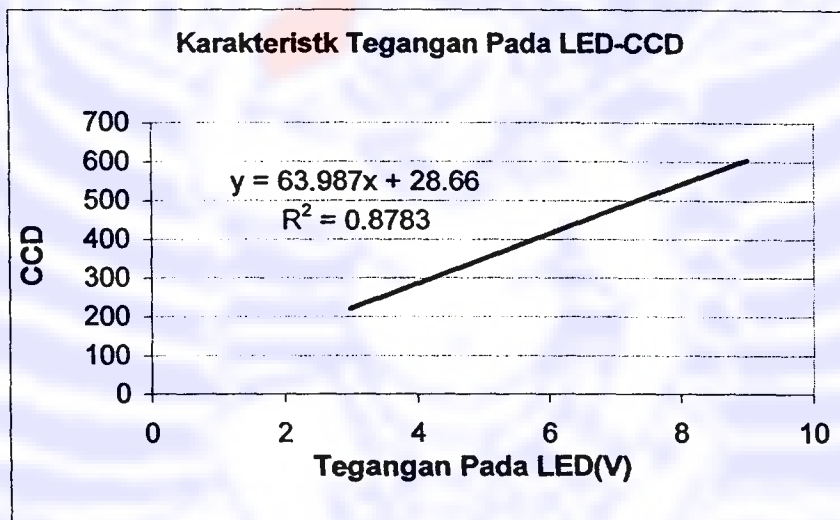
Tabel 4.3 Data hasil pengukuran besaran tegangan fotodiode terhadap besaran CCD

| N0 | Fotodiode(mV) | CCD |
|----|---------------|-------|
| 1 | 0.180 | 258.8 |
| 2 | 0.439 | 321.5 |
| 3 | 0.810 | 538 |
| 4 | 1.200 | 628 |

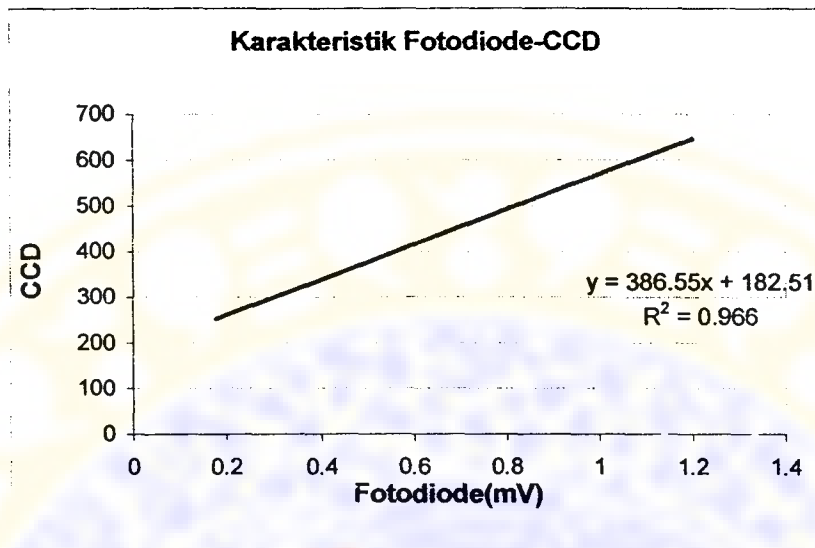
Syarat Kalibrasi antara besaran tegangan Fotodiode terhadap besaran CCD, maka besaran haruslah bersifat linier, sehingga perlu adanya kelinieran antara besaran tegangan Fotodiode terhadap besaran tegangan pada LED dijelaskan pada gambar (4.1), dan kelinieran antara besaran keluaran CCD terhadap besaran pada LED dijelaskan pada gambar (4.2), kemudian setelah bersifat linier baru dilakukan kalibrasi besaran tegangan Fotodiode terhadap besaran CCD yang dijelaskan pada gambar (4.3). Karakteristik besaran keluaran CCD terhadap pergeseran pada daerah efektif dapat dijelaskan pada gambar (4.4)



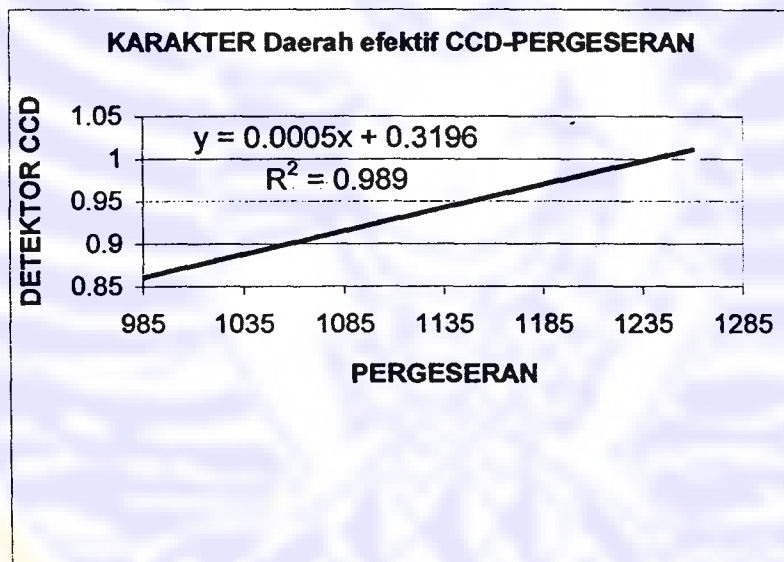
Gambar 4.1. Uji linearitasan besaran tegangan Fotodiode terhadap besaran tegangan pada LED



Gambar 4.2. Uji linearitasan besaran CCD terhadap besaran tegangan pada LED



Gambar 4.3. Uji linearitasan besaran tegangan Fotodiode terhadap besaran CCD



Gmbar 4.4. Kurva efektif pada keluaran detektor CCD(V_0) terhadap pergeseran serat optik (Z)

4.2 Pembahasan

Pada eksperimen tentang karakteristik besaran tegangan fotodiode terhadap besaran tegangan pada LED (Gambar (4.1)) didapatkan koefisien korelasi linier $(R)=0.962$. Pada eksperimen tentang karakteristik besaran CCD terhadap besaran tegangan pada LED gambar (4.2) didapatkan koefisien korelasi linier $(R)= 0.937$. Pada eksperimen tentang karakteristik besaran Fotodiode terhadap besaran CCD gambar (4.3) didapatkan koefisien korelasi $(R)=0.983$. Pada Prosedur penelitian yang kedua dalam penentuan karakteristik hubungan antara besaran keluaran CCD terhadap pergeseran serat optik pada gambar (4.4) didapatkan koefisien korelasi linier $(R)=0.994$. Daerah efektif pada penelitian terletak pada jangkauan pengukuran pergeseran serat optik antara $(985-1260) \mu\text{m}$ dengan daerah efektif ini dilihat dari data pada lampiran IV. Pada jangkauan $(985-1260) \mu\text{m}$ yang terlihat pada lampiran IV tidak ada penurunan besaran keluaran detektor CCD terhadap pergeseran.

Pada penelitian sebelumnya serat optik sebagai sensor pergeseran dengan menggunakan fotodiode sebagai detektornya didapatkan koefisien korelasi linier $(R)=0.996$, dari hasil antara penelitian sebelumnya dengan penelitian ini dapat dikatakan bahwa penggunaan Fotodiode lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan CCD. Hal ini dikarenakan dalam penggunaan CCD harus dalam ruangan yang gelap, karena pengaruh luar sangat mempengaruhi keluaran CCD, karena sistem yang digunakan tanpa menggunakan sumber cahaya termulasi dan penguat lock-in.

Didalam penelitian ini terdapat kendala pada saat pengambilan data besaran tegangan keluaran detektor CCD , detektor CCD sangat tergantung pada keadaan ruangan yang konduksif sehingga menyebabkan data yang diperoleh tidak mempunyai nilai ketelitian yang cukup tinggi contoh kendalanya seperti adanya kesamaan nilai besaran tegangan keluaran detektor CCD dengan nilai pergeseran yang berbeda, dimana seharusnya nilai besaran tegangannya tidak sama dengan nilai pergeseran yang berbeda, karena kondisi terpengaruh cahaya dari luar (cahaya luar ruangan eksperimen).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Detektor CCD dapat digunakan sebagai piranti sensor pergeseran mikro
2. Hubungan antara besaran tegangan keluaran detektor CCD dengan pergeseran bersifat linear.
3. Rentang pengukuran yang dapat diukur antara 985-1260 μm dan kemampuan pendeteksian sistem sensor sebesar 0.004/ μm

5.2 Saran

Untuk meningkatkan hasil penelitian ini dikemukakan saran agar alat pengukur besaran tegangan keluaran CCD dibuat dengan kondisi yang sebaik mungkin dalam hal pengaruh dari luar.

DAFTAR PUSTAKA

- Keiser,G,1984," **Optical Fiber Communication** ", Mc Graw- Hill Book Co., London.
- Snyder,A.W., and Love,J.D.,1993," **Optical Wave Guide Theory**", chopman & Hall,New York.
- Thomas Sri Widodo,1995, " **Optoelektronika Komunikasi Serat Optis**",Gramedia,Jakarta.
- Van Etten,W.,and Van der Platts,J.,1991," **Fundamental Optical Fiber Communication**",Prentice-Hall, New York.
- Gloge,D and Marcatili,1973," **Multimode Theory of Graded-Core Fibers**", BSTJ,Nopember.
- Besley,M.J,1972," **Lasers and Their Applications**", Taylor & Francis Ltd, London.
- Gatot Yudoyono,1988," **Komunikasi Serat Optis**", Kolokom, Surabaya.
- Nurul ,H.,2000," **Efisiensi Sambatan Ujung-Ujung Serat Optis Sebagai Fungsi Pergeseran Kearah Sumbu**",Skripsi,Jurusan Fisika FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Fukuo Suganuma dkk,1999,"**Development of adifferential optical-fiber displacement sensor**", Optical society,Amerika
- Anonymous,2003," **LC1 Line Camera- Operating Manual** ", Thorlabs, USA
- Sigit,I.W.1998,"**Serat Optik Sebagai Sensor Pergeseran**",Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Airlangga,Surabaya.
- Fajar.A.S.2004,"**Pemanfaatan Serat Optik Sebagai Sensor Tekanan**",Skripsi,Jurusan Fisika FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.

Lampiran I

Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Besaran keluaran CCD (v_0) terhadap

Tegangan pada LED (v_s)

Regression**Descriptive Statistics**

| | Mean | Std. Deviation | N |
|----------------------------|----------|----------------|---|
| CCD (v_0) | 436,5750 | 174,90642 | 4 |
| Tegangan Terbuka (v_s) | 6,3750 | 2,56174 | 4 |

Correlations

| | | CCD (v_0) | Tegangan Terbuka (v_s) |
|---------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| Pearson Correlation | CCD (v_0) | 1,000 | ,937 |
| | Tegangan Terbuka (v_s) | ,937 | 1,000 |
| Sig. (1-tailed) | CCD (v_0) | . | ,031 |
| | Tegangan Terbuka (v_s) | ,031 | . |
| N | CCD (v_0) | 4 | 4 |
| | Tegangan Terbuka (v_s) | 4 | 4 |

Variables Entered/Removed^a

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|----------------------------|-------------------|--------|
| 1 | Tegangan Terbuka (v_s) | . | Enter |

- a. All requested variables entered.
b. Dependent Variable: CCD (v_0)

Lampiran I (lanjutan)**Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Besaran keluaran CCD (v_0) terhadap Tegangan pada LED (v_s)****Model Summary**

| | | Model |
|----------------------------|-----------------|-------------------|
| | | 1 |
| R | | ,937 ^a |
| R Square | | ,878 |
| Adjusted R Square | | ,817 |
| Std. Error of the Estimate | | 74,73408 |
| Change Statistics | R Square Change | ,878 |
| | F Change | 14,432 |
| | df1 | 1 |
| | df2 | 2 |
| | Sig. F Change | ,063 |

a. Predictors: (Constant), Tegangan Terbuka (Vs)

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1 | Regression | 80606,404 | 1 | 80606,404 | 14,432 | ,063 ^a |
| | Residual | 11170,364 | 2 | 5585,182 | | |
| | Total | 91776,768 | 3 | | | |

a. Predictors: (Constant), Tegangan Terbuka (Vs)

b. Dependent Variable: CCD (v_0)

Lampiran I (lanjutan)

Hasil Perhitungan Uji Linearitas Besaran keluaran CCD (v_0) terhadap Tegangan pada LED (v_s)

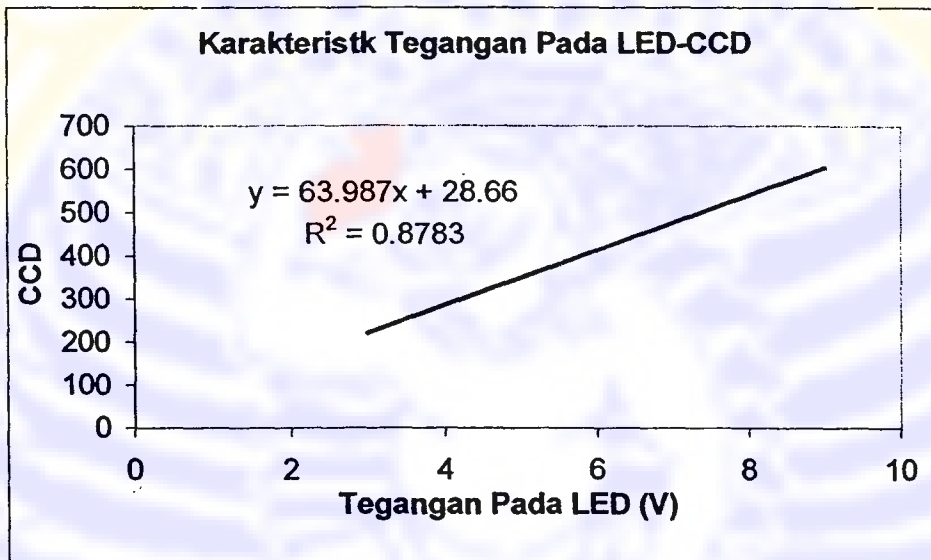
Coefficients^a

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|----------------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|-------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 28,660 | 113,691 | | ,252 | ,825 |
| | Tegangan Terbuka (V_s) | 63,987 | 16,843 | ,937 | 3,799 | ,063 |

a. Dependent Variable: CCD (V_0)

Lampiran I (lanjutan)

**Kurva Hasil perhitungan Uji Linearitasan Besaran Keluaran CCD (V_0)
terhadap Tegangan Pada LED (V_s)**



Lampiran II

Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Besaran Tegangan Keluaran Fotodiode (V_0) terhadap Tegangan pada LED (V_s)

Regression

Descriptive Statistics

| | Mean | Std. Deviation | N |
|-----------------------|--------|----------------|---|
| Multimeter | ,6573 | ,44471 | 4 |
| Tegangan Terbuka (Vs) | 6,3750 | 2,56174 | 4 |

Correlations

| | | Multimeter | Tegangan Terbuka (Vs) |
|---------------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| Pearson Correlation | Multimeter | 1,000 | ,962 |
| | Tegangan Terbuka (Vs) | ,962 | 1,000 |
| Sig. (1-tailed) | Multimeter | , | ,019 |
| | Tegangan Terbuka (Vs) | ,019 | , |
| N | Multimeter | 4 | 4 |
| | Tegangan Terbuka (Vs) | 4 | 4 |

Variables Entered/Removed^a

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|-----------------------|-------------------|--------|
| 1 | Tegangan Terbuka (Vs) | , | Enter |

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

Lampiran II (lanjutan)**Hasil Perhitungan Uji Linearitas Besaran Tegangan Keluaran Fotodiode (V_0) terhadap Tegangan pada LED (V_s)****Model Summary**

| | | Model |
|----------------------------|-----------------|-------------------|
| | | 1 |
| R | | ,962 ^a |
| R Square | | ,926 |
| Adjusted R Square | | ,889 |
| Std. Error of the Estimate | | ,14800 |
| Change Statistics | R Square Change | ,926 |
| | F Change | 25,087 |
| | df1 | 1 |
| | df2 | 2 |
| | Sig. F Change | ,038 |

a. Predictors: (Constant), Tegangan Terbuka (V_s)

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1 | Regression | ,550 | 1 | ,550 | 25,087 | ,038 ^a |
| | Residual | ,044 | 2 | ,022 | | |
| | Total | ,593 | 3 | | | |

a. Predictors: (Constant), Tegangan Terbuka (V_s)

b. Dependent Variable: Multimeter

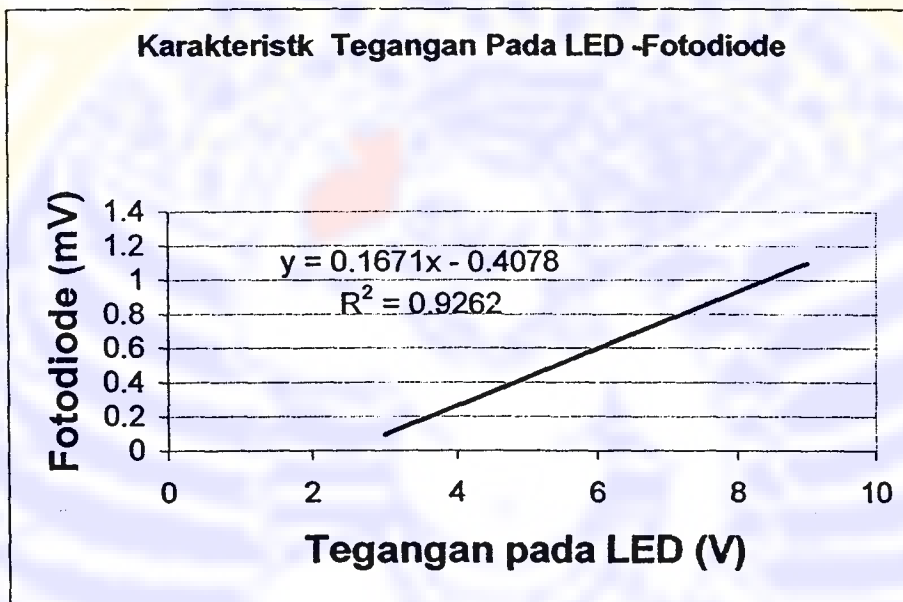
Lampiran II (lanjutan)**Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Besaran Tegangan Keluaran Fotodiode (V_0) terhadap Tegangan pada LED (V_s)****Coefficients^a**

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|----------------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 (Constant) | -,408 | ,225 | | -1,811 | ,212 |
| Tegangan Terbuka (V_s) | ,167 | ,033 | ,962 | 5,009 | ,038 |

a. Dependent Variable: Multimeter

Lampiran II (lanjutan)

Kurva Hasil perhitungan Uji Linearitasn Besaran Tegangan Keluaran Fotodiode (V_0) terhadap Tegangan Pada LED (V_s)



Lampiran III

Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Tegangan Keluaran Fotodiode (v_s)

Regression

Descriptive Statistics

| | Mean | Std. Deviation | N |
|---------------|----------|----------------|---|
| CCD (V_0) | 436,5750 | 174,90642 | 4 |
| Multimeter | ,6573 | ,44471 | 4 |

Correlations

| | | CCD (V_0) | Multimeter |
|---------------------|---------------|---------------|------------|
| Pearson Correlation | CCD (V_0) | 1,000 | ,983 |
| | Multimeter | ,983 | 1,000 |
| Sig. (1-tailed) | CCD (V_0) | . | ,009 |
| | Multimeter | ,009 | . |
| N | CCD (V_0) | 4 | 4 |
| | Multimeter | 4 | 4 |

Variables Entered/Removed^d

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|-------------------------|-------------------|--------|
| 1 | Multimeter ^a | . | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: CCD (V_0)

Lampiran III (lanjutan)

**Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Besaran Keluaran CCD (V_0)
terhadap Tegangan Keluaran Fotodiode (v_s)**

Model Summary

| | | Model |
|----------------------------|-----------------|-------------------|
| | | 1 |
| R | | ,983 ^a |
| R Square | | ,966 |
| Adjusted R Square | | ,949 |
| Std. Error of the Estimate | | 39,50800 |
| Change Statistics | R Square Change | ,966 |
| | F Change | 56,798 |
| | df1 | 1 |
| | df2 | 2 |
| | Sig. F Change | ,017 |

a. Predictors: (Constant), Multimeter

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| 1 | Regression | 88655,003 | 1 | 88655,003 | 56,798 | ,017 ^a |
| | Residual | 3121,765 | 2 | 1560,882 | | |
| | Total | 91776,768 | 3 | | | |

a. Predictors: (Constant), Multimeter

b. Dependent Variable: CCD (V_0)

Lampiran III (lanjutan)

**Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Besaran Keluaran CCD (V_0)
terhadap Tegangan Keluaran Fotodiode (v_s)**

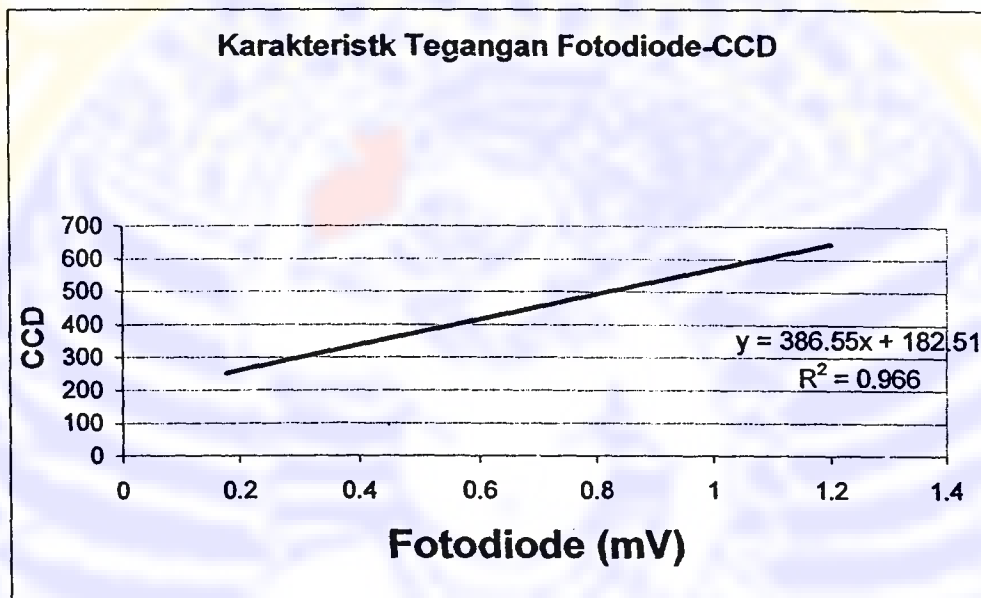
Coefficients^a

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. | |
|-------|-----------------------------|------------|---------------------------|------|-------|------|
| | B | Std. Error | Beta | | | |
| 1 | (Constant) | 182,512 | 39,073 | | 4,671 | ,043 |
| | Multimeter | 386,554 | 51,291 | ,983 | 7,536 | ,017 |

a. Dependent Variable: CCD (V_0)

Lampiran III (lanjutan)

**Kurva Hasil perhitungan Uji Linearitasan Besaran Keluaran CCD (V_0)
terhadap Tegangan Keluaran Fotodiode (V_s)**



Lampiran IV**Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Pada daerah Efektif Keluaran CCD (V₀) terhadap Pergesaran (Z)****Regression****Variables Entered/Removed^b**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|-------|-----------------------------|-------------------|--------|
| 1 | PERGESE RAN ^a | . | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: DETEKTOR CCD

Model Summary

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | ,995 ^a | ,989 | ,989 | ,004753 |

a. Predictors: (Constant), PERGESERAN

ANOVA^b

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|-------|------------|----------------|----|-------------|----------|-------------------|
| 1 | Regression | ,110 | 1 | ,110 | 4872,003 | ,000 ^a |
| | Residual | ,001 | 54 | ,000 | | |
| | Total | ,111 | 55 | | | |

a. Predictors: (Constant), PERGESERAN

b. Dependent Variable: DETEKTOR CCD

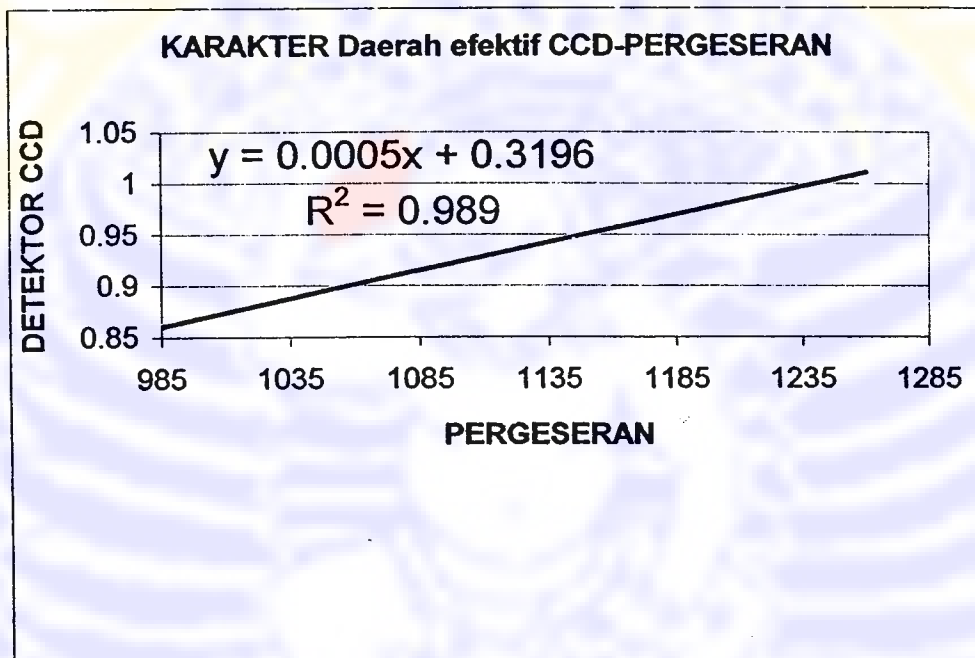
Lampiran IV (lanjutan)**Hasil Perhitungan Uji Linearitasan Pada daerah Efektif Keluaran****CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)****Coefficients^a**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|-------|------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | ,320 | ,009 | | 36,134 | ,000 |
| | PERGESERAN | 5,485E-04 | ,000 | ,995 | 69,800 | ,000 |

a. Dependent Variable: DETEKTOR CCD

Lampiran IV (lanjutan)

**Kurva Hasil perhitungan Uji Linearitasan Pada daerah efektif
Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**



Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| N0 | Z | V_0 | N0 | Z | V_0 |
|-----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-------------------------|
| 1 | 5 | 0.579 | 20 | 100 | 0.607 |
| 2 | 10 | 0.579 | 21 | 105 | 0.607 |
| 3 | 15 | 0.579 | 22 | 110 | 0.61 |
| 4 | 20 | 0.582 | 23 | 115 | 0.613 |
| 5 | 25 | 0.585 | 24 | 120 | 0.616 |
| 6 | 30 | 0.582 | 25 | 125 | 0.618 |
| 7 | 35 | 0.59 | 26 | 130 | 0.616 |
| 8 | 40 | 0.59 | 27 | 135 | 0.618 |
| 9 | 45 | 0.588 | 28 | 140 | 0.621 |
| 10 | 50 | 0.585 | 29 | 145 | 0.621 |
| 11 | 55 | 0.585 | 30 | 150 | 0.624 |
| 12 | 60 | 0.588 | 31 | 155 | 0.627 |
| 13 | 65 | 0.59 | 32 | 160 | 0.627 |
| 14 | 70 | 0.59 | 33 | 165 | 0.629 |
| 15 | 75 | 0.59 | 34 | 170 | 0.633 |
| 16 | 80 | 0.588 | 35 | 175 | 0.636 |
| 17 | 85 | 0.59 | 36 | 180 | 0.636 |
| 18 | 90 | 0.593 | 37 | 185 | 0.638 |
| 19 | 95 | 0.599 | 38 | 190 | 0.636 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| NO | Z | V_0 | NO | Z | V_0 |
|-----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-------------------------|
| 39 | 195 | 0.633 | 58 | 290 | 0.641 |
| 40 | 200 | 0.638 | 59 | 295 | 0.641 |
| 41 | 205 | 0.641 | 60 | 300 | 0.644 |
| 42 | 210 | 0.641 | 61 | 305 | 0.647 |
| 43 | 215 | 0.638 | 62 | 310 | 0.649 |
| 44 | 220 | 0.644 | 63 | 315 | 0.649 |
| 45 | 225 | 0.638 | 64 | 320 | 0.652 |
| 46 | 230 | 0.638 | 65 | 325 | 0.655 |
| 47 | 235 | 0.641 | 66 | 330 | 0.652 |
| 48 | 240 | 0.644 | 67 | 335 | 0.655 |
| 49 | 245 | 0.644 | 68 | 340 | 0.655 |
| 50 | 250 | 0.647 | 69 | 345 | 0.658 |
| 51 | 255 | 0.647 | 70 | 350 | 0.661 |
| 52 | 260 | 0.644 | 71 | 355 | 0.661 |
| 53 | 265 | 0.644 | 72 | 360 | 0.658 |
| 54 | 270 | 0.647 | 73 | 365 | 0.655 |
| 55 | 275 | 0.647 | 74 | 370 | 0.655 |
| 56 | 280 | 0.647 | 75 | 375 | 0.652 |
| 57 | 285 | 0.644 | 76 | 380 | 0.649 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| NO | Z | V_0 | NO | Z | V_0 |
|----|-----|-------|-----|-----|-------|
| 77 | 385 | 0.652 | 96 | 480 | 0.684 |
| 78 | 390 | 0.655 | 97 | 485 | 0.686 |
| 79 | 395 | 0.658 | 98 | 490 | 0.689 |
| 80 | 400 | 0.661 | 99 | 495 | 0.692 |
| 81 | 405 | 0.661 | 100 | 500 | 0.695 |
| 82 | 410 | 0.664 | 101 | 505 | 0.698 |
| 83 | 415 | 0.667 | 102 | 510 | 0.701 |
| 84 | 420 | 0.669 | 103 | 515 | 0.701 |
| 85 | 425 | 0.672 | 104 | 520 | 0.701 |
| 86 | 430 | 0.669 | 105 | 525 | 0.698 |
| 87 | 435 | 0.672 | 106 | 530 | 0.701 |
| 88 | 440 | 0.675 | 107 | 535 | 0.698 |
| 89 | 445 | 0.675 | 108 | 540 | 0.701 |
| 90 | 450 | 0.678 | 109 | 545 | 0.701 |
| 91 | 455 | 0.678 | 110 | 550 | 0.698 |
| 92 | 460 | 0.681 | 111 | 555 | 0.695 |
| 93 | 465 | 0.684 | 112 | 560 | 0.692 |
| 94 | 470 | 0.686 | 113 | 565 | 0.689 |
| 95 | 475 | 0.684 | 114 | 570 | 0.692 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| NO | Z | V_0 | NO | Z | V_0 |
|-----|-----|-------|-----|-----|-------|
| 115 | 575 | 0.695 | 134 | 670 | 0.732 |
| 116 | 580 | 0.698 | 135 | 675 | 0.734 |
| 117 | 585 | 0.698 | 136 | 680 | 0.734 |
| 118 | 590 | 0.701 | 137 | 685 | 0.74 |
| 119 | 595 | 0.703 | 138 | 690 | 0.743 |
| 120 | 600 | 0.706 | 139 | 695 | 0.748 |
| 121 | 605 | 0.709 | 140 | 700 | 0.748 |
| 122 | 610 | 0.712 | 141 | 705 | 0.748 |
| 123 | 615 | 0.712 | 142 | 710 | 0.748 |
| 124 | 620 | 0.715 | 143 | 715 | 0.754 |
| 125 | 625 | 0.715 | 144 | 720 | 0.754 |
| 126 | 630 | 0.715 | 145 | 725 | 0.757 |
| 127 | 635 | 0.716 | 146 | 730 | 0.759 |
| 128 | 640 | 0.72 | 147 | 735 | 0.759 |
| 129 | 645 | 0.72 | 148 | 740 | 0.763 |
| 130 | 650 | 0.72 | 149 | 745 | 0.768 |
| 131 | 655 | 0.723 | 150 | 750 | 0.774 |
| 132 | 660 | 0.726 | 151 | 755 | 0.776 |
| 133 | 665 | 0.729 | 152 | 760 | 0.779 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| N0 | Z | V_0 | N0 | Z | V_0 |
|-----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-------------------------|
| 153 | 765 | 0.788 | 172 | 860 | 0.819 |
| 154 | 770 | 0.79 | 173 | 865 | 0.816 |
| 155 | 775 | 0.797 | 174 | 870 | 0.816 |
| 156 | 780 | 0.797 | 175 | 875 | 0.814 |
| 157 | 785 | 0.799 | 176 | 880 | 0.814 |
| 158 | 790 | 0.805 | 177 | 885 | 0.812 |
| 159 | 795 | 0.805 | 178 | 890 | 0.816 |
| 160 | 800 | 0.807 | 179 | 895 | 0.819 |
| 161 | 805 | 0.812 | 180 | 900 | 0.847 |
| 162 | 810 | 0.816 | 181 | 905 | 0.853 |
| 163 | 815 | 0.816 | 182 | 910 | 0.853 |
| 164 | 820 | 0.814 | 183 | 915 | 0.859 |
| 165 | 825 | 0.814 | 184 | 920 | 0.859 |
| 166 | 830 | 0.812 | 185 | 925 | 0.862 |
| 167 | 835 | 0.812 | 186 | 930 | 0.862 |
| 168 | 840 | 0.814 | 187 | 935 | 0.864 |
| 169 | 845 | 0.816 | 188 | 940 | 0.867 |
| 170 | 850 | 0.819 | 189 | 945 | 0.87 |
| 171 | 855 | 0.819 | 190 | 950 | 0.87 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| N0 | Z | V_0 | N0 | Z | V_0 |
|-----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-------------------------|
| 191 | 955 | 0.87 | 210 | 1050 | 0.895 |
| 192 | 960 | 0.876 | 211 | 1055 | 0.898 |
| 193 | 965 | 0.873 | 212 | 1060 | 0.904 |
| 194 | 970 | 0.876 | 213 | 1065 | 0.907 |
| 195 | 975 | 0.87 | 214 | 1070 | 0.909 |
| 196 | 980 | 0.867 | 215 | 1075 | 0.915 |
| 197 | 985 | 0.862 | 216 | 1080 | 0.918 |
| 198 | 990 | 0.864 | 217 | 1085 | 0.921 |
| 199 | 995 | 0.864 | 218 | 1090 | 0.921 |
| 200 | 1000 | 0.864 | 219 | 1095 | 0.921 |
| 201 | 1005 | 0.867 | 220 | 1100 | 0.924 |
| 202 | 1010 | 0.87 | 221 | 1105 | 0.926 |
| 203 | 1015 | 0.87 | 222 | 1110 | 0.926 |
| 204 | 1020 | 0.873 | 223 | 1115 | 0.932 |
| 205 | 1025 | 0.876 | 224 | 1120 | 0.935 |
| 206 | 1030 | 0.881 | 225 | 1125 | 0.938 |
| 207 | 1035 | 0.884 | 226 | 1130 | 0.938 |
| 208 | 1040 | 0.887 | 227 | 1135 | 0.941 |
| 209 | 1045 | 0.889 | 228 | 1140 | 0.946 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| N0 | Z | V_0 | N0 | Z | V_0 |
|-----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-------------------------|
| 229 | 1145 | 0.949 | 248 | 1240 | 0.994 |
| 230 | 1150 | 0.949 | 249 | 1245 | 0.994 |
| 231 | 1155 | 0.955 | 250 | 1250 | 0.994 |
| 232 | 1160 | 0.96 | 251 | 1255 | 0.997 |
| 233 | 1165 | 0.966 | 252 | 1260 | 1 |
| 234 | 1170 | 0.969 | 253 | 1265 | 0.997 |
| 235 | 1175 | 0.969 | 254 | 1270 | 0.997 |
| 236 | 1180 | 0.972 | 255 | 1275 | 0.997 |
| 237 | 1185 | 0.977 | 256 | 1280 | 0.989 |
| 238 | 1190 | 0.98 | 257 | 1285 | 0.989 |
| 239 | 1195 | 0.98 | 258 | 1290 | 0.989 |
| 240 | 1200 | 0.983 | 259 | 1295 | 0.983 |
| 241 | 1205 | 0.983 | 260 | 1300 | 0.98 |
| 242 | 1210 | 0.983 | 261 | 1305 | 0.98 |
| 243 | 1215 | 0.986 | 262 | 1310 | 0.98 |
| 244 | 1220 | 0.992 | 263 | 1315 | 0.98 |
| 245 | 1225 | 0.992 | 264 | 1320 | 0.974 |
| 246 | 1230 | 0.994 | 265 | 1325 | 0.974 |
| 247 | 1235 | 0.994 | 266 | 1330 | 0.966 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| N0 | Z | V_0 | N0 | Z | V_0 |
|-----------|----------|-------------------------|-----------|----------|-------------------------|
| 267 | 1335 | 0.958 | 286 | 1430 | 0.921 |
| 268 | 1340 | 0.958 | 287 | 1435 | 0.915 |
| 269 | 1345 | 0.952 | 288 | 1440 | 0.912 |
| 270 | 1350 | 0.952 | 289 | 1445 | 0.907 |
| 271 | 1355 | 0.949 | 290 | 1450 | 0.904 |
| 272 | 1360 | 0.946 | 291 | 1455 | 0.898 |
| 273 | 1365 | 0.946 | 292 | 1460 | 0.895 |
| 274 | 1370 | 0.938 | 293 | 1465 | 0.887 |
| 275 | 1375 | 0.941 | 294 | 1470 | 0.887 |
| 276 | 1380 | 0.941 | 295 | 1475 | 0.887 |
| 277 | 1385 | 0.935 | 296 | 1480 | 0.87 |
| 278 | 1390 | 0.935 | 297 | 1485 | 0.862 |
| 279 | 1395 | 0.929 | 298 | 1490 | 0.859 |
| 280 | 1400 | 0.926 | 299 | 1495 | 0.85 |
| 281 | 1405 | 0.929 | 300 | 1500 | 0.842 |
| 282 | 1410 | 0.926 | 301 | 1505 | 0.842 |
| 283 | 1415 | 0.926 | 302 | 1510 | 0.836 |
| 284 | 1420 | 0.924 | 303 | 1515 | 0.833 |
| 285 | 1425 | 0.924 | 304 | 1520 | 0.836 |

Lampiran IV (Lanjutan)**Data Hasil Besaran Keluaran CCD (V_0) terhadap Pergeseran (Z)**

| N0 | Z | V_0 | N0 | Z | V_0 |
|------------|-------------|-------------------------|------------|-------------|-------------------------|
| 305 | 1525 | 0.836 | 316 | 1580 | 0.746 |
| 306 | 1530 | 0.836 | 317 | 1585 | 0.743 |
| 307 | 1535 | 0.83 | 318 | 1590 | 0.743 |
| 308 | 1540 | 0.83 | 319 | 1595 | 0.743 |
| 309 | 1545 | 0.822 | 320 | 1600 | 0.74 |
| 310 | 1550 | 0.79 | 321 | 1605 | 0.732 |
| 311 | 1555 | 0.782 | 322 | 1610 | 0.732 |
| 312 | 1560 | 0.776 | 323 | 1615 | 0.726 |
| 313 | 1565 | 0.763 | 324 | 1620 | 0.726 |
| 314 | 1570 | 0.757 | | | |
| 315 | 1575 | 0.757 | | | |

Lampiran V

Program yang digunakan dalam analisa data

```
unit Unit1;  
  
interface  
  
uses  
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
  StdCtrls, Grids, ComCtrls, ExtCtrls, TeeProcs, TeEngine, Chart, Series;  
  
type  
  TForm1 = class(TForm)  
    PageControl1: TPageControl;  
    TabSheet1: TTabSheet;  
    TabSheet2: TTabSheet;  
    GroupBox1: TGroupBox;  
    Label1: TLabel;  
    Label2: TLabel;  
    Edit1: TEdit;  
    Edit2: TEdit;  
    GroupBox2: TGroupBox;
```

Lampiran V (lanjutan)

Program yang digunakan dalam analisa data

```
StringGrid1: TStringGrid;  
Button1: TButton;  
Chart1: TChart;  
Series1: TLineSeries;  
Edit3: TEdit;  
Label3: TLabel;  
GroupBox3: TGroupBox;  
RadioButton2: TRadioButton;  
RadioButton1: TRadioButton;  
procedure Button1Click(Sender: TObject);  
procedure FormCreate(Sender: TObject);  
procedure Edit3Change(Sender: TObject);  
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);  
procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);  
private  
    { Private declarations }  
public  
    { Public declarations }  
end;
```


Lampiran V (lanjutan)**Program yang digunakan dalam analisa data**

```
var
  Form1: TForm1;

implementation
  {$R *.DFM}

  procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
    var awal,akhir,y: real;
        i: integer;
    begin
      if radiobutton2.Checked then
        begin
          awal:= strtofloat(edit1.Text);
          akhir:= strtofloat(edit2.text);
          i:= 1;
          repeat
            inc(i);
            stringgrid1.Cells[1,i-1]:= floattostr(awal);
            awal:= awal + 5;
```

Lampiran V (lanjutan)**Program yang digunakan dalam analisa data**

```

y:= 0.0005*awal+0.3196;
stringgrid1.Cells[2,i-1]:= floattostr(y);
stringgrid1.RowCount:= i;
until awal > akhir
end;
if radiobutton1.Checked then
begin
i:= 1;
repeat
inc(i);
awal:= strtfloat(stringgrid1.Cells[1,i-1]);
y:= 0.0005*awal+0.3196;
stringgrid1.Cells[2,i-1]:= floattostr(y);
until i = stringgrid1.RowCount
end;
{ for i:= 1 to stringgrid1.RowCount do

chart1.Series[1].AddXY(strtfloat(stringgrid1.cells[1,i]),strtfloat(stringgrid1.
cells[2,i]));}
end;

```

Lampiran V (lanjutan)**Program yang digunakan dalam analisa data**

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    stringgrid1.Cells[1,0]:='Pergeseran';
    stringgrid1.Cells[2,0]:='CCD';
end;

procedure TForm1.Edit3Change(Sender: TObject);
begin
    stringgrid1.RowCount:= strtoint(edit3.Text)+1;
end;

procedure TForm1.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
    edit1.Enabled:=true;
    edit2.Enabled:=true;
    edit3.Enabled:=false;
end;

procedure TForm1.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
    edit1.enabled:=false;
```

Lampiran V (lanjutan)

Program yang digunakan dalam analisa data

```
edit2.Enabled:=false;  
edit3.Enabled:=true;  
end;  
  
end.
```

Lampiran VI**Program yang digunakan analisa data Fotodiode-CCD**

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Grids;
```

```
type
```

```
TForm1 = class(TForm)
```

```
StringGrid1: TStringGrid;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
Button1: TButton;
```

```
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
procedure FormCreate(Sender: TObject);
```

```
private
```

Lampiran VII

Grafik yang diperoleh dari satu sampel dari keluaran CCD terhadap pergeseran

