

**PENENTUAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TAK TAMPAK
DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFRAKSI FRESNEL**

SKRIPSI

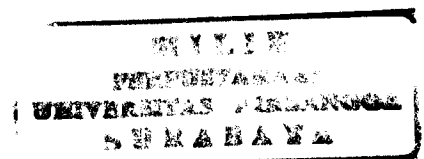
MPF 55/06

VIVIN HERDIANTI

201
0



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



**PENENTUAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TAK TAMPAK
DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFRAKSI FRESNEL**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Fisika
Pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Airlangga**



Oleh:

**VIVIN HERDIANTI
NIM. 080112299**

Tanggal Lulus : 26 Juli 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 NASKAH SKRIPSI

Judul : **PENENTUAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA
TAK TAMPAK DENGAN MENGGUNAKAN
METODE DIFRAKSI FRESNEL**

Penyusun : **VIVIN HERDIANTI**

NIM : **080112299**

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

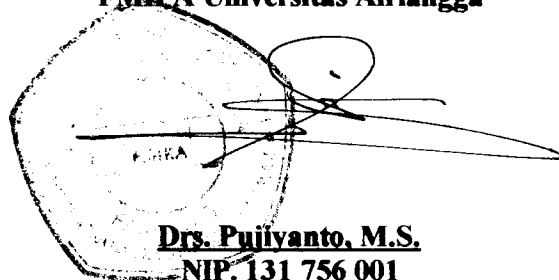
Pembimbing II,



Samian, S.Si
NIP. 132 206 065

Mengetahui :

**Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Airlangga**



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

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan. Namun, tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga. Diperkenankan digunakan sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seijin penulis dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah. Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.



Vivin Herdianti, 2006, *Penentuan Panjang Gelombang Cahaya Tak Tampak Dengan Menggunakan Metode Difraksi Fresnel*. Skripsi ini di bawah bimbingan Drs. Mohammad Yasin M.Si dan Samian, S.Si. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Airlangga.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan panjang gelombang cahaya tak tampak dengan menggunakan metode difraksi Fresnel. Dalam eksperimen ini digunakan laser GaAlAs sebagai sumber cahaya dan celah sebagai komponen untuk menghasilkan pola difraksi. Hasil keluaran dari sumber yang dilewatkan celah dideteksi oleh CCD. Dalam eksperimen ini menggunakan detektor CCD bertipe ILX526A untuk menampilkan pola difraksi. Dengan menggunakan detektor CCD yang dihubungkan ke komputer dibutuhkan interface akan dihasilkan pengamatan dengan resolusi yang baik dan distribusi intensitas pola difraksi dapat langsung ditentukan. Detektor CCD ini mempunyai spesifikasi : 3000 piksel yang dapat menghasilkan pola difraksi Fresnel. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah distribusi intensitas pola difraksi Fresnel laser GaAlAs dan nilai panjang gelombang cahaya tak tampak dengan posisi CCD sejajar yaitu sebesar $(8,035 \pm 0,010) 10^{-7}$ m, dengan prosentase kesalahannya sebesar 7,13 % sampai 10,72%. Sedangkan dengan posisi CCD tegak lurus nilai panjang gelombang sebesar $(8,005 \pm 0,010) 10^{-7}$ m dan prosentase kesalahannya yaitu 6,73% sampai 11,05%.

Kata kunci : Difraksi Fresnel, Cahaya tak tampak

Vivin Herdianti, 2006, *Definition Of Invisible Light Wavelength By Using Fresnel Diffraction Metode.* Under Consult Drs. Mohammad Yasin M.Si dan Samian, S.Si. , Physics departement, Mathematic and Basic Science Faculty, Airlangga University.

ABSTRACT

This reearch aim to define invisible light wavelength used by Fresnel diffraction metode. In this experiment is used by Laser GaAlAs as lightsource and aperture as componen for solute diffraction patern. Output result from source that has been passed trough the aperture is detected by CCD. In this experiment use CCD detector type 1LX526A for shows diffraction patern. By using CCD detector that connected to computer is needed interface which will be result an observation with good resolution and intensity distribution of diffraction patern can directly detected. CCD detector has same specifications : 3000 pixel that could result Fresnel diffraction patern. The result gotten from this research is intensity distribution of Fresnel diffraction patern laser GaAlAs and invisible light wavelength value with position CCD as the same is $(8,035 \pm 0,010) 10^{-7}$ m with an error prosentage is 7,13% until 10,72%. And with position of CCD stand-stright with value of wavelength $(8,005 \pm 0,010) 10^{-7}$ m and with an error prosentage is 6,73% until 11,05%.

Keywords : Fresnel Diffraction, Invisible Light

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmaanirrohim

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan seluruh semesta alam penulis tujukan, karena dengan ridlo-Nyalah Skripsi yang berjudul “ **PENENTUAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TAK TAMPAK DENGAN MENGGUNAKAN METODE DIFRAKSI FRESNEL** “ ini dapat diselesaikan dengan baik dan juga tak lupa sholawat dan salam penulis haturkan untuk Nabi Muhammad SAW.

Banyak hal yang penulis alami dalam menyelesaikan Skripsi ini, baik suka maupun duka, namun semuanya alhamdulillah dapat terlewati dimana kesemuanya itu merupakan perjalanan hidup yang harus dijalani dalam rangka pencarian makna hidup yang lebih jauh dan lebih baik lagi, pencapaian hikmah dan proses menuju kedewasaan diri. Dan penulis yakin bahwa itu semua berguna untuk bekal selanjutnya.

Ucapan terima kasih perlu penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Skripsi ini, khususnya kepada :

1. Kedua Orang Tuaku tercinta, semoga Allah SWT selalu melimpahi rahmat, hidayah, dan ridlo-Nya kepada beliau berdua, atas do'a, harapan, kasih sayang dan support-nya yang selalu diberikan selama penulis melewati masa-masa sulit dalam pengerjaan Skripsi ini yang tidak dapat dinilai dengan sesuatu apapun di dunia ini.
2. Bapak Drs.M.Yasin, M.Si, selaku dosen pembimbing I dan dosen wali yang telah membimbing dan memberikan petunjuk serta pengertian selama penyelesaian Skripsi ini.

3. Bapak Samian, S.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah membantu penulis baik ilmu, tenaga dan waktunya dalam menyelesaikan Skripsi ini.
4. Bapak Drs. Pujiyanto, M.S, selaku ketua jurusan Fisika yang telah menyetujui 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. *“My Sweet Heart” Mohammad Nur Hilmi* terima kasih atas perhatian, doa dan dukungannya (*you're always the best in my heart*)
7. Kakakku Sendy dan Keluarga di Malang terima kasih atas support dan doa'nya, buat tante din terima kasih atas dukungannya.
8. Untuk semua guru-guru dan dosenku mulai dari TK hingga Perguruan Tinggi terima kasih banyak atas ilmu-ilmunya *because without all of you I'm nothing...*
9. Teman spesialku *“Umi Salamah.”* makasih banget ya atas supportnya selama ini, yang selalu dengerin keluh kesah penulis selama ngerjakan skripsi ini. Sekali lagi makasih banget pren, jangan lupain aku ya...
10. Teman – temanku seperjuangan Angkatan'01 *Risdiana, Lita, Dina, Yuyun, Aprilia, Isti, Dani, Afif, Ade, Ismanu, Ahong, Hari, Pak De, tauvik, Andi, taufik, Hidayat, Ari Selo, Krisnawan* yang selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
11. Teman – teman Angkatan'02 Chusnul makasih banget atas bantuannya selama ini. Ana, Zuhdi, Karim, Nuri, Parsiti, Aries *thanks for all...*

12. Teman-teman Fisika lainnya terima kasih atas dukungannya dan semua pihak yang tidak bias penulis sebutkan satu – persatu disini.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, untuk itu saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan guna kesempurnaan laporan ini. Harapan penulis semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. Amen.

Surabaya, Juli 2006.



Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK	.....	i
ABSTRACT	.....	ii
KATA PENGANTAR	.....	iii
DAFTAR ISI	.....	vi
DAFTAR TABEL	.....	viii
DAFTAR GAMBAR	.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN	.....	x
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	3
1.3	Batasan Masalah	3
1.4	Tujuan Penelitian	3
1.5	Manfaat Penelitian	4
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
2.1	Difraksi	5
2.2	Difraksi Fresnel Dan Difraksi Fraunhofer	8
2.3	Difraksi Fresnel	9
2.4	Difraksi Fresnel Menggunakan Celah Lingkaran Dengan Penyinaran On-Axis	12

2.5	Detektor CCD (Charge Coupled Devices).....	16
2.6	Laser Diode Semikonduktor	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3	Prosedur Penelitian	23
3.3.1	Penyusunan Alat	23
3.3.2	Penentuan Panjang Gelombang Cahaya Berupa Celah Lingkaran Dengan menggunakan Laser GaAlAs	25
3.3.3	Perhitungan Diameter Celah Lingkaran	26
3.3.4	Langkah-langkah Pengambilan Data	26
3.4	Metode Analisis Data	26
3.4.1	Pengumpulan Data	26
3.4.2	Analisis Data	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil.....	28
4.2	Pembahasan.....	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	32
5.2	Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....		34
LAMPIRAN A.....		35
LAMPIRAN B.....		39

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul Tabel	Halaman
2.1	Pengelompokkan LDS Berdasarkan Unsur Pembentuk Dan Panjang Gelombang Yang Dihasilkan.	20



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul Gambar	Halaman
2.1	Difraksi Gelombang Datar Oleh Celah Dengan Lebar $D=AB$	7
2.2	Gelombang Sferis Menyinari Celah	9
2.3	Zona Fresnel	11
2.4	Celah Lingkaran Dengan Diameter R	12
2.5	Foto Alat CCD Linier	17
2.6	Peristiwa Rekombinasi	19
2.7	Struktur Tingkat Energi Semikonduktor	19
3.1	Diagram Untuk Menentukan Distribusi Intensitas Laser He-Ne	23
3.2	Skema Untuk Menentukan Panjang Gelombang Laser GaAlAs	25

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran	Halaman
A-1	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=1$ $R=0,609$ mm, dan $Z=586$ m	36
A-2	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=2$ $R=0,861$ mm, dan $Z=586$ mm	37
A-3	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=3$ $R=1,055$ mm, dan $Z=586$ mm	37
A-4	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=4$ $R=1,218$ mm, dan $Z=586$ mm	38
B-1	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=1$ $R=0,676$ mm, $Z=566,666$ mm, $V_0=9,909V$, $S/n=9$	44
B-2	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=2$ $R=0,956$ mm, $Z=574,000$ mm, $V_0=3,191V$, $S/n=4,570$	44
B-3	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=3$ $R=1,171$ mm, $Z=572,666$ mm, $V_0=9,207V$, $S/n=8,880$	45
B-4	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=4$ $R=1,352$ mm, $Z=561,666$ mm, $V_0=4,376V$, $S/n=2,122$	45
B-5	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=1$ $R=0,676$ mm, $Z=566,666$ mm, $V_0=9,725V$, $S/n=9,380$	49
B-6	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=2$ $R=0,956$ mm, $Z=576,333$ mm, $V_0=1,860V$, $S/n=1,817$	50

B-7	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=3$	50
	$R=1,171 \text{ mm}$, $Z=577,333 \text{ mm}$, $V_0=10,014\text{V}$, $S/n=9,661$	
B-8	Distribusi Intensitas Difraksi Fresnel Untuk $N=4$	51
	$R=1,352 \text{ mm}$, $Z=563,333 \text{ mm}$, $V_0=1,109\text{V}$, $S/n=1,000$	
B-9	Ambang Batas Intensitas Pada Saat Akan Diberi Sumber	51
B-10	Ambang Batas Maksimum Intensitas Yang Dideteksi	52



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Gelombang merupakan salah satu gejala fisis penalaran gangguan elektromagnet dalam ruang. Pada kejadian khusus cahaya yang melewati celah akan berperilaku sebagai gelombang dan pada saat tiba pada layar maka cahaya berperilaku partikel, gejala ini dinamakan gejala difraksi. Secara makroskopik, difraksi adalah gejala pembelokan arah yang dialami seberkas gelombang cahaya ketika menjalar melalui suatu celah yang sempit atau mengalami gangguan pada penjalarnya (Jenkins-White, 1957). Secara umum difraksi dibagi menjadi dua yaitu difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel. Perbedaan fisis antara difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel terletak pada pola interferensi yang memperlihatkan karakteristik yang berbeda, bergantung pada konfigurasi optik yang bersangkutan. Jika sumber atau titik pengamatan atau keduanya terletak berdekatan dengan bidang celah maka dinamakan difraksi Fresnel. Sebaliknya, jika sumber dan titik pengamatan jauh dari bidang celah dinamakan difraksi Fraunhofer (Guenther, 1990). Selama ini pengukuran panjang gelombang dengan metode difraksi dapat dilakukan untuk sumber cahaya tampak. Sumber cahaya tampak yang digunakan dalam pengamatan difraksi pada umumnya adalah laser Helium-Neon dengan panjang gelombang ($\lambda=632,8 \text{ nm}$) karena pengamatan akan lebih mudah apabila menggunakan sumber cahaya tampak. Gejala ini dimanfaatkan sebagai salah satu metode untuk menentukan agihan intensitas suatu sumber cahaya. Beberapa cara dalam menentukan panjang gelombang

selain dengan metode difraksi dapat juga menggunakan suatu alat yang dinamakan *wavelengthmeter*. Kelemahan utama alat ini yaitu jangkauan nilai panjang gelombang terbatas. Karena *wavelengthmeter* tidak dapat diperoleh dengan mudah serta harganya relatif mahal, maka perlu diupayakan pengembangan metode difraksi untuk menentukan panjang gelombang sumber cahaya tampak .

Pengukuran panjang gelombang dengan metode difraksi lebih mudah dilakukan apabila menggunakan cahaya tampak. Padahal kemungkinan dalam suatu percobaan tidak hanya diperlukan penggunaan cahaya tampak, namun juga cahaya tak tampak. Penggunaan metode difraksi untuk menentukan agihan intensitas cahaya tak tampak Laser Diode Semikonduktor GaAlAs dengan menggunakan detektor optis sel fotovoltaik BPY-47 serta perekam YT sudah pernah dilakukan dengan metode difraksi Fraunhofer (Wahono, A, 1999). Pada penelitian sebelumnya untuk menentukan agihan intensitas dan penentuan panjang gelombang mempunyai suatu kelemahan yaitu masih menggunakan cara manual sehingga kurang teliti. Kemudian dikembangkan untuk mengukur diameter objek berorde panjang gelombang cahaya dengan menggunakan komputerisasi dan detektor fotodiode (Soegiarto, 2000). Tetapi cara ini juga mempunyai kelemahan yaitu tidak dapat menentukan distribusi intensitas secara langsung. Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut di atas diperlukan detektor yang dapat menentukan distribusi intensitas secara langsung.

Di dalam penelitian ini penulis menggunakan detektor CCD (*Couple Charge Devices*) yang dapat menentukan distribusi intensitas pola difraksi secara langsung nilai panjang gelombang cahaya tak tampak keluaran Laser Diode

Semikonduktor GaAlAs dengan menggunakan metode difraksi Fresnel. Detektor CCD ini mempunyai banyak keunggulan yaitu memberikan hasil pengamatan dengan resolusi tinggi. Sehingga dengan diketahuinya distribusi intensitas pola difraksi maka dapat digunakan untuk menentukan nilai panjang gelombang cahaya tak tampak Laser Diode Semikonduktor GaAlAs.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan mengacu pada latar belakang masalah, dapat disusun permasalahan penelitian sebagai berikut :

1. Apakah pola difraksi Fresnel menggunakan cahaya tak tampak (GaAlAs) dapat dideteksi oleh detektor CCD garis ?
2. Apakah panjang gelombang cahaya tak tampak (GaAlAs) dapat diukur dengan menggunakan metode difraksi Fresnel dan detektor CCD garis ?
3. Apakah hasil pengukuran panjang gelombang cahaya tak tampak (GaAlAs) sesuai dengan referensi ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

- Sumber cahaya tak tampak yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laser Diode Semikonduktor GaAlAs.
- Penelitian ini membatasi untuk $N=1$, $N=2$, $N=3$ dan $N=4$ (N = bilangan Fresnel).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pola difraksi Fresnel menggunakan cahaya tak tampak (GaAlAs) dapat dideteksi oleh detektor CCD garis.

2. Menentukan panjang gelombang cahaya tak tampak (GaAlAs) dapat diukur dengan menggunakan metode difraksi Fresnel dan detektor CCD garis.
3. Mengetahui hasil pengukuran panjang gelombang cahaya tak tampak (GaAlAs) sesuai dengan referensi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk menentukan nilai panjang gelombang cahaya tak tampak. Di samping itu penentuan nilai panjang gelombang dapat juga menggunakan sumber cahaya laser komersial yang beredar di pasaran, salah satunya adalah laser pointer.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pengembangan metode difraksi sebagai cara alternatif untuk menentukan panjang gelombang cahaya tak tampak memerlukan pengetahuan yang cukup memadai tentang gejala difraksi. Secara umum difraksi dibagi menjadi 2 yaitu difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel.

Perbedaan fisis antara difraksi Fraunhofer dan difraksi Fresnel terletak pada jarak antara celah dan layar. Pada difraksi Fraunhofer jarak antara layar dan celah relatif jauh yaitu lebih besar dari 1600m bila lebar celahnya 2,5 cm. Sedangkan, pada difraksi Fresnel jarak antara layar dan celah relatif dekat yaitu 50 cm. Pada penelitian ini digunakan metode difraksi Fresnel karena pengembangan metode difraksi Fresnel untuk menentukan panjang gelombang dengan sumber cahaya tak tampak dengan sistem komputerisasi dan detektor CCD (*Charge Coupled Devices*) garis belum pernah dicoba dilakukan di jurusan Fisika Universitas Airlangga. Sumber cahaya tak tampak yang digunakan dalam penelitian ini adalah laser diode semikonduktor GaAlAs. Keluaran laser diode semikonduktor GaAlAs adalah cahaya inframerah.

2.1 Difraksi

Difraksi merupakan gejala pembelokan arah seberkas gelombang cahaya ketika melewati celah sempit yang pada jarak tertentu akan membentuk bayangan geometris. Apabila terdapat 2 (dua) celah yang dikenai oleh cahaya koheren maka akan terjadi interferensi. Fakta ini bertentangan dengan penalaran yang terdapat pada difraksi celah-ganda. Namun pertentangan ini dapat ditiadakan dengan

menganggap foton mempunyai sifat sebagai gelombang. Intensitas gelombang setelah melewati celah akan menentukan kemungkinan foton tersebut tiba di titik tertentu pada layar.

Gejala difraksi juga dianggap sebagai salah satu ciri khas gelombang yang tidak dimiliki partikel, karena sebuah partikel yang bergerak bebas melalui suatu celah tidak akan mengalami perubahan arah. Cahaya dapat memperlihatkan sifat gelombang atau sifat partikel, tidak pernah keduanya terjadi secara bersamaan. Bila cahaya melalui celah, cahaya akan berperilaku sebagai gelombang. Cahaya akan berperilaku partikel akan tampak pada saat tiba pada layar (Beiser, 1981).

Gejala difraksi dapat dikaji dengan menggunakan prinsip Huygens yang menyebutkan bahwa suatu gelombang datar yang sampai pada suatu celah dengan bukaan yang kecil akan menghasilkan gelombang *sferis*. Pada jarak yang cukup jauh dari celah, gelombang-gelombang *sferis* tersebut akan nampak lagi sebagai gelombang datar (Moller, 1983).

Fresnel merumuskan prinsip Huygens yang dikenal sebagai prinsip Huygens-Fresnel yang menyebutkan bahwa dalam suatu proses propagasi gelombang bebas, setiap titik muka gelombang berfungsi sebagai sumber sesaat bagi suatu *wavelet sferis sekunder* yang memiliki frekuensi gelombang primernya. Muka gelombang pada saat berikutnya berupa permukaan yang menyinggung muka gelombang semua anak gelombang yang berasal dari titik-titik sefase pada muka gelombang terdahulu. Ini berarti semua anak gelombang pada suatu muka gelombang tertentu bersifat saling koheren. Selanjutnya medan gelombang di setiap titik merupakan superposisi linier dari medan semua anak gelombang yang bersangkutan.

intensitas yang tidak berarti, lebih dikenal dengan keadaan gelap (keadaan destruktif). Bila $\lambda \ll D$, maka syarat superposisi konstruktif $\lambda \gg \Delta r$ hanya dipenuhi dengan sudut θ yang kecil dan efek difraksi dengan sendirinya menjadi kecil. Jadi dapat disimpulkan bahwa ukuran λ dan D menentukan besar kecilnya efek difraksi.

Pada fenomena difraksi, gelombang yang sampai pada celah adalah gelombang datar. Bila sumber cahaya berupa titik, maka letak sumber harus jauh dari celah agar gelombang yang sampai pada celah berupa gelombang datar. Demikian pula gelombang yang sampai di layar atau pengamat merupakan gelombang datar.

Agar gelombang yang sampai di layar atau pengamat merupakan gelombang datar maka letak layar harus jauh dari celah. Fenomena difraksi yang demikian disebut difraksi Fraunhofer. Bila salah satu sumber atau layar atau kedua-duanya jaraknya dekat dengan celah, maka difraksi tersebut merupakan difraksi Fresnel.

2. 2 Difraksi Fresnel dan Difraksi Fraunhofer

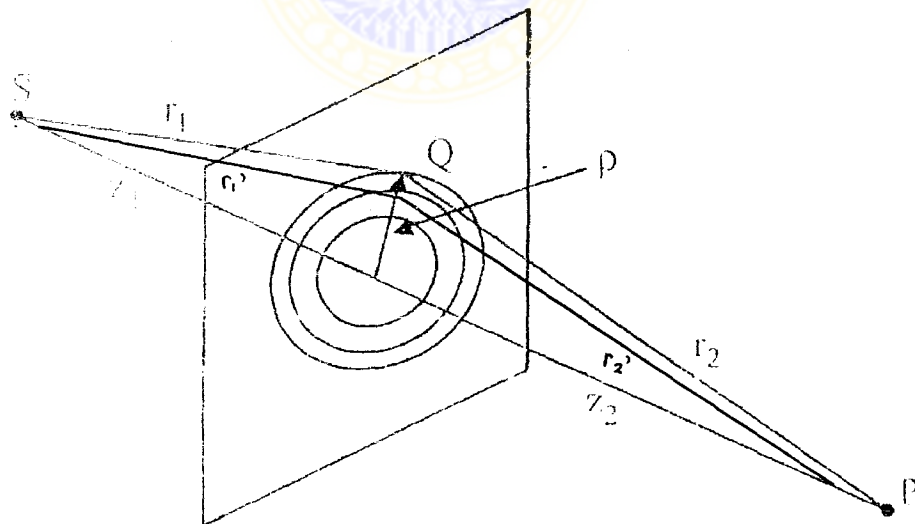
Fenomena difraksi tak lain adalah efek interferensi. Difraksi dibedakan menjadi dua bagian yaitu difraksi Fresnel atau difraksi medan dekat, jika titik pengamatan atau sumber titik atau kedua – duanya terletak pada jarak yang berdekatan dengan bidang celah. Difraksi Fraunhofer atau difraksi medan jauh, jika titik pengamatan atau sumber titik berjarak cukup jauh dari celah, sehingga gelombang yang tiba pada celah maupun yang diteruskannya dapat dideteksi sebagai gelombang datar.

2.3 Difraksi Fresnel

Dalam mempelajari difraksi Fresnel, daerah Fresnel dapat dibagi dalam cincin-cincin sepusat seperti ditunjukkan dalam gambar 2.2. Untuk menentukan intensitas resultan titik P mengacu pada muka gelombang bidang celah. Metode Fresnel terdiri dari pembagian muka gelombang $\frac{1}{2}$ periode dari daerah Fresnel.

Pola difraksi Fresnel dengan celah lingkaran berbentuk cincin konsentris terang dan gelap dengan pusat terang atau gelap bergantung pada perubahan jarak terhadap titik terluar yang terdapat pada layar yang tegak lurus dengan muka gelombang (Jenkins-White, 1957).

Pada teori difraksi Fresnel daerah celah dapat dibagi menjadi daerah-daerah Fresnel. Gambar 2.2 menunjukkan sumber titik S yang menyinari celah dari jarak Z_1 . Titik observasi P adalah jarak ke bagian kanan celah. Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2 Gelombang sferis menyinari celah

$$\text{SQP} = r_1 + r_2 = \sqrt{Z_1^2 + \rho^2} + \sqrt{Z_2^2 + \rho^2} \quad (2.1)$$

$$= Z_1 \left(1 + \frac{\rho^2}{Z_1^2} \right)^{\frac{1}{2}} + Z_2 \left(1 + \frac{\rho^2}{Z_2^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= Z_1 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\rho^2}{Z_1^2} \right) + Z_2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\rho^2}{Z_2^2} \right) + \dots$$

$$= Z_1 + Z_2 + \frac{1}{2} \rho^2 \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) + \dots \quad (2.2)$$

Celah dapat dibagi menjadi bagian-bagian yang dibatasi oleh lingkaran konsentris yaitu $\rho = \text{konstanta}$ yang didefinisikan sedemikian hingga selisih lintasan cahaya yang melalui kedua lingkaran berbeda $\lambda / 2$ sebagai syarat batas awal. Daerah ini disebut daerah Fresnel atau daerah setengah periode. Jika Z_1 dan Z_2 cukup besar jika dibandingkan dengan diameter celah maka orde tertinggi dari bentuk deret dari persamaan (2.2) dapat diabaikan sehingga diperoleh hasil sebagai berikut:

$$r_1' + r_2' = (r_1 + r_2) + \frac{\lambda}{2}$$

$$\frac{\lambda}{2} = (r_1' + r_2') - (r_1 + r_2)$$

$$= Z_1 + Z_2 + \frac{1}{2} \rho_1^2 \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) - Z_1 + Z_2 + \frac{1}{2} \rho^2 \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right)$$

$$r_1' + r_2' = Z_1 + Z_2 + \frac{1}{2} (\rho_1^2 - \rho^2) \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right)$$

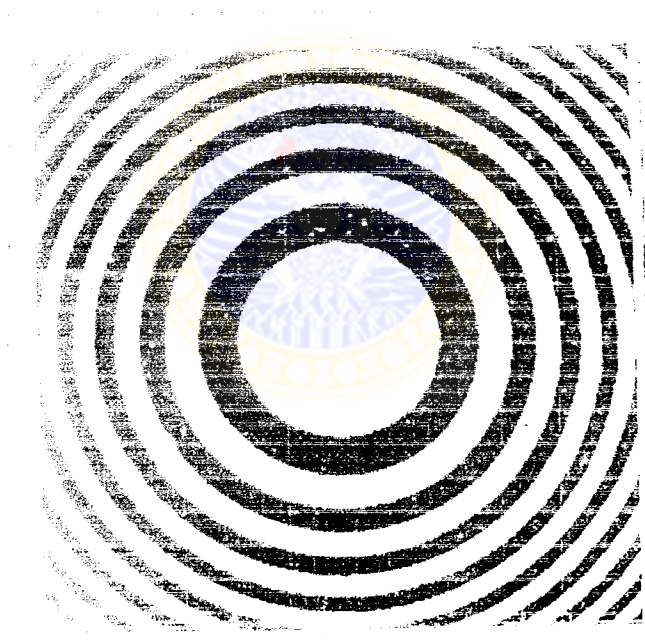
$$n \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{2} \rho_n^2 \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) \longrightarrow n = 1, 2, 3, \dots \quad (2.3)$$

Untuk mendapatkan jari-jari ke- n ρ_n dari daerah Fresnel dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho_n = \sqrt{n\lambda L} \text{ atau } \rho_1 = \sqrt{\lambda L}, \quad \rho_2 = \sqrt{2\lambda L} \quad (2.4)$$

$$\text{dengan, } L = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}}$$

Gambar 2.3 menunjukkan gambar daerah fresnel dengan setiap daerah adalah gelap (hitam). Bahwa pada setiap daerah pusatnya adalah menyempit dan melebar bergantung terhadap perubahan jari-jarinya seperti ditunjukkan pada gambar di bawah, jari-jari dari daerah bertambah sebesar akar kuadrat dari bilangan bulat.



Gambar 2.3 Zona Fresnel

Jika ρ_n dan ρ_{n+1} adalah jari - jari dalam dan luar dari daerah ke- n maka luas daerah dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Luas daerah fresnel ke-}n = \pi \rho_{n+1}^2 - \pi \rho_n^2$$

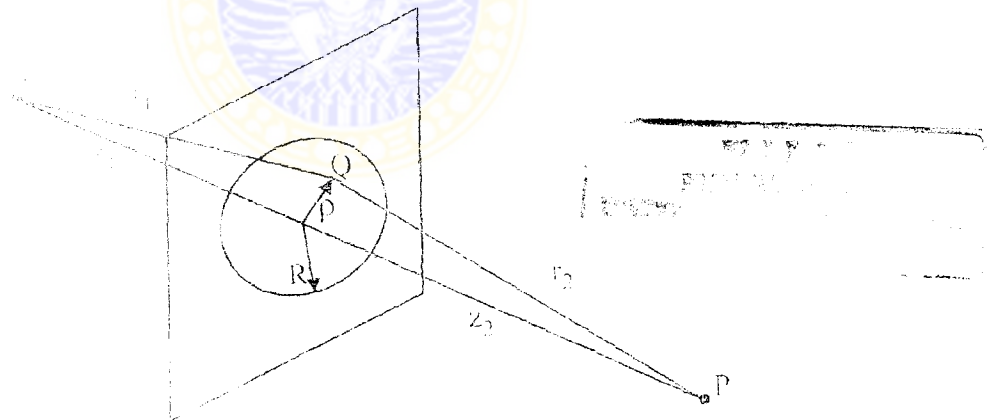
$$\begin{aligned}
 &= \pi (n+1) \lambda L - \pi (n) \lambda L \\
 &= \pi \lambda L = \pi \rho_1^2 \quad (2.5)
 \end{aligned}$$

Maka luas dari seluruh daerah fresnel adalah sama. Jika SRQ diteruskan ke luas pada daerah maka perlahan-lahan akan berkurang sebesar ρ . Secara umum diasumsikan bahwa Z_1 dan Z_2 cukup besar jika dibandingkan dengan ρ bila orde yang lebih tinggi dapat diabaikan dan luasan daerah Fresnel dianggap sama.

2. 4 Difraksi Fresnel Menggunakan Celah Lingkaran dengan Penyinaran

On-Axis

Penyinaran on-axis adalah penyinaran yang melalui celah dengan S (sumber cahaya) dan P (detektor) melewati pusat dari celah lingkaran tersebut. Lingkaran berjari-jari R, dapat ditunjukkan oleh gambar berikut ini :



Gambar 2.4 Celah lingkaran dengan diameter R

Jika jari-jari celah (R) lebih kecil dibandingkan dengan Z_1 dan Z_2 biasanya menggunakan pendekatan dalam bentuk integral Kirchoff yang ditunjukkan oleh persamaan (2.6) dengan faktor penyimpangannya sebesar 1 dan $1/r_1 r_2$, dengan pendefinisian kembali $1/r_1 r_2$ menjadi $1/Z_1 Z_2$. Simetri silindris pada sumbu SP

menggunakan pendekatan dalam koordinat polar yang ditunjukkan oleh fungsi berikut ini :

$$U_0[\mathbf{P}] = \frac{A}{i\lambda Z_1 Z_2} \int_0^R e^{ik(r_1+r_2)} 2\pi\rho d\rho \quad (2.6)$$

dengan $U_0[\mathbf{P}]$ = Persamaan gelombang di titik P

A = Amplitudo gelombang sferis sumber S

i = Imaginer

$$r_1^2 = Z_1^2 + \rho^2 \quad \text{dan} \quad r_2^2 = Z_2^2 + \rho^2$$

$$\rho d\rho = r_1 dr_1 = r_2 dr_2$$

$$d(r_1 + r_2) = \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \rho d\rho$$

$$\rho d\rho = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} d(r_1 + r_2) \approx \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} d(r_1 + r_2)$$

$$U_0[\mathbf{P}] = \frac{A}{i\lambda \frac{\rho d\rho (Z_1 + Z_2)}{d(r_1 + r_2)}} \int_0^R e^{ik(r_1+r_2)} 2\pi\rho d\rho$$

$$\text{Sehingga } U_0[\mathbf{P}] = \frac{2\pi A}{i\lambda (Z_1 + Z_2)} \int_{l(0)}^{l(R)} e^{ik(r_1+r_2)} d(r_1+r_2) \quad (2.7)$$

dengan $l(0) = Z_1 + Z_2$ dan $l(R) = r_1 + r_2$ ketika $\rho = R$ yaitu ketika titik Q adalah pada celah lingkaran sehingga variabel $l(R)$ dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$r_1 + r_2 = Z_1 + Z_2 + q \frac{\lambda}{2}$$

Dengan demikian q adalah selisih jarak pengukuran antara $r_1 + r_2$ dan $Z_1 + Z_2$ dalam satuan setengah panjang gelombang dan q sama dengan bilangan daerah Fresnel pada celah lingkaran. $U_0[\mathbf{P}]$ sekarang bisa ditulis sebagai:

$$U_0[P] = \frac{\pi U_{00}[P]}{i} \int_0^N e^{i\pi q} dq \quad (2.8)$$

dengan $N = q[R]$ adalah nilai q yang terkait dengan titik pada celah dan $U_{00}[P]$ yaitu nilai amplitudo di titik P .

$$U_{00}[P] = \frac{A}{Z_1 + Z_2} e^{ik(Z_1 + Z_2)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} U_0[P] &= \frac{\pi A}{(Z_1 + Z_2)i} e^{ik(Z_1 + Z_2)} \int_0^N e^{i\pi q} dq \\ &= \frac{\pi A}{(Z_1 + Z_2)i} e^{ik(Z_1 + Z_2)} \frac{1}{\pi} e^{i\pi q} \\ &= -\frac{A}{(Z_1 + Z_2)} e^{ik(Z_1 + Z_2)} e^{i\pi N} \end{aligned}$$

$$U_0[P] = \frac{A}{(Z_1 + Z_2)} e^{ik(Z_1 + Z_2)} (1 - e^{i\pi N})$$

Jadi ,

$$U_0[P] = U_{00}[P] (1 - e^{i\pi N}) \quad (2.9)$$

Intensitas on-Axis ditentukan oleh:

$$i[P] = 2 i_{00}[P] (1 - \cos |\pi N|) = 4 i_{00}[P] \sin \left[\frac{N\pi}{2} \right]^2 \quad (2.10)$$

Sebagaimana jari – jari pada celah semakin meningkat, intensitas pada titik P berosilasi antara 0 dan 4 kali intensitas. Dengan demikian Intensitas yang dihasilkan oleh daerah Fresnel yang pertama terang pusat sama dengan 4 kali intensitas yang dihasilkan dari daerah Fresnel terang yang lain. Sebagaimana untuk daerah Fresnel gelap ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut :

$$i[P] = 4 i_{00}[P] \quad (2.11)$$

Untuk bilangan Fresnel yang genap menunjukkan daerah Fresnel gelap pusat dimana daerah Fresnel gelap pusat tersebut tidak dapat menentukan daerah Fresnel yang lain, hal ini dikarenakan intensitas on-axis sama dengan nol (zero).

Hubungan antara N dan R ditentukan ujung dari celah ketika $\rho = R$ dengan :

$$r_1 = (Z_1^2 + R^2)^{1/2} \times \frac{Z_1}{Z_1}$$

$$= Z_1 \left(1 + \frac{R^2}{Z_1^2} \right)^{1/2}$$

Persamaan Binomial:

$$(1+x)^n = 1 + \frac{nx}{1!} + \frac{n(n-1)x^2}{2!} + \dots$$

$$\left(1 + \frac{R^2}{Z_1^2} \right)^{1/2} = 1 + \frac{1}{2} \frac{R^2}{Z_1^2} - \frac{1}{8} \frac{R^4}{Z_1^4} + \dots$$

Karena $Z_1 > R$ Maka : $\left(1 + \frac{R^2}{Z_1^2} \right)^{1/2} = 1 + \frac{1}{2} \frac{R^2}{Z_1^2}$

$$r_1 = Z_1 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{R^2}{Z_1^2} \right)$$

$$\approx Z_1 + \frac{R^2}{2Z_1} ; r_2 = (Z_2^2 + R^2)^{1/2} \approx Z_2 + \frac{R^2}{2Z_2}$$

Tetapi,

$$r_1 + r_2 = Z_1 + Z_2 + N \frac{\lambda}{2}$$

Jadi jumlah bilangan Fresnel dinyatakan dengan :

$$N = \frac{R^2}{\lambda(Z_1 + Z_2)} \quad (2.12)$$

Karena Z_1 jauh lebih kecil dari Z_2 ($Z_1 \ll Z_2$) sehingga Z_1 diabaikan oleh jarak Z_2 dimana Z_2 dapat dinyatakan dengan Z maka akan didapatkan persamaan :

$$N = \frac{R^2}{\lambda Z} \quad (2.13)$$

Menurut persamaan (2.13) inilah yang akan digunakan untuk mengukur panjang gelombang laser diode semikonduktor GaAlAs.

2. 5 Detektor CCD (Charge Coupled Devices)

CCD adalah suatu alat yang dapat merekam hasil interferensi yang kemudian dihubungkan ke komputer dengan menggunakan program sehingga dapat menghasilkan distribusi intensitasnya. CCD analog dengan rangkaian terpadu yang mengkonversi bayangan optis ke keluaran elektronik atau berfungsi sebagai antar muka (*interface*). CCD linier terdiri dari susunan fotodiode linier, dimana masing-masing fotodiode membentuk sel gambar/piksel.

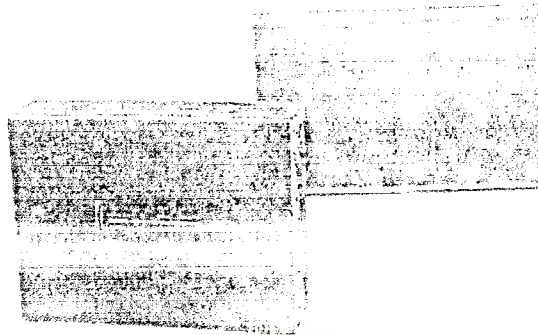
Cara kerja bayangan CCD linier ada dua tahap yaitu tahap pemaparan dan tahap pembacaan. Tahap pemaparan disebut waktu integrasi dimana elemen foto mengkonversi penyinaran cahaya yang datang menjadi muatan listrik yang sebanding dengan yang disimpan dalam kapasitor MOS (*Metal Oxide Semikonduktor*).

Muatan foto yang diterima akan dikonversi ke dalam sinyal video. Apabila CCD dihubungkan ke komputer dibutuhkan interface untuk mengubah sinyal video menjadi sinyal digital. Untuk CCD garis dapat menentukan secara langsung distribusi intensitas pola difraksi.

Spesifikasi CCD bertipe ILX526A adalah sebagai berikut :

- a. Efektifitas piksel : 3000 piksel.
- b. Tegangan 5 Volt.

- c. Ukuran piksel $7 \mu\text{m}$
- d. Sensitivitas maksimum : $300 \text{ V} / (\text{Ix} \cdot \text{s})$ → batas maksimum besarnya tegangan yang dapat dideteksi oleh CCD per piksel sekon.
- e. Frekuensi : 100 KHz (Min), 1 MHz (Max).



Gambar 2.5 Foto alat CCD linier

Langkah-langkah menghubungkan CCD ke komputer meliputi :

- a. Menghubungkan kabel Interface (CD_9) di antara CCD garis dan bagian depan Interface Box.
- b. Menghubungkan kabel paralel port antara bagian belakang interface dan paralel port ke komputer.

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

Keuntungan dari pemakaian CCD sebagai detektor adalah :

1. Dapat memberikan hasil pengamatan dengan resolusi yang baik.
2. Memiliki tanggapan yang sesuai dengan intensitas penyinaran.
3. Dapat menentukan secara langsung distribusi intensitas pola difraksi.

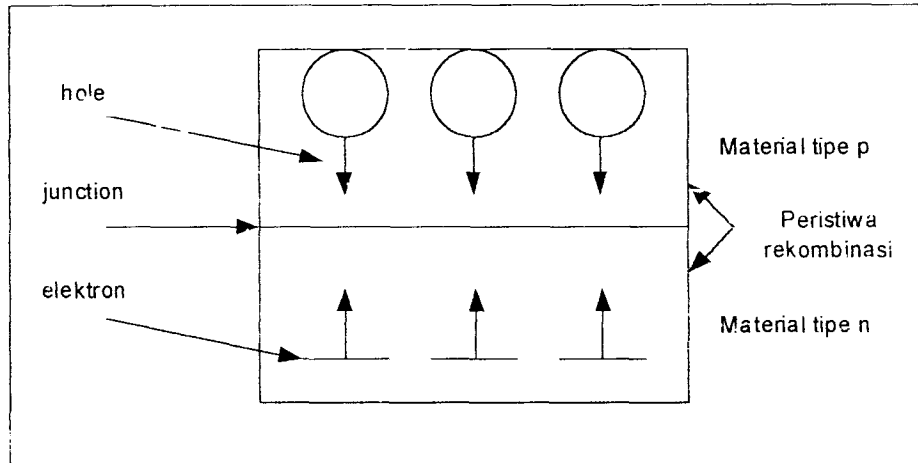
2.6 Laser Diode Semikonduktor

Laser diode Semikonduktor (LDS) dibagi menjadi 2 kelompok yaitu :

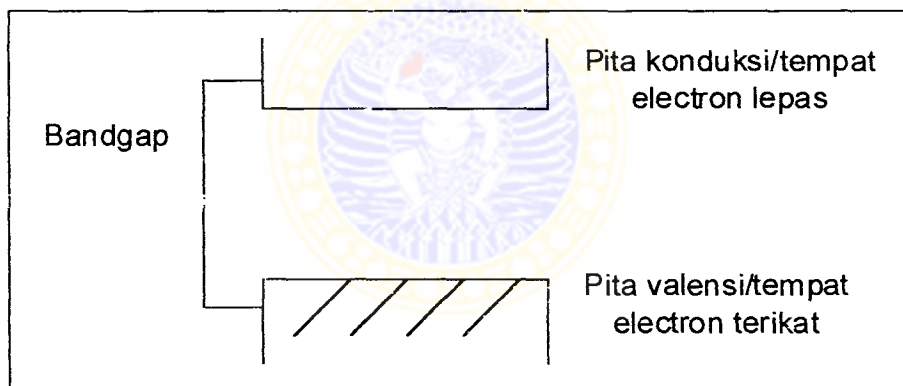
1. Laser Diode Semikonduktor campuran unsur-unsur dari golongan III dan golongan V misalnya : Gallium Arsenid (*GaAs*). LDS jenis ini digolongkan sebagai LDS yang memancarkan cahaya inframerah dekat.
2. LDS yang dihasilkan dari “ *Lead Salt* “ ini digolongkan sebagai pemancar inframerah jauh karena mempunyai rentang panjang gelombang 2,7 μm -3,0 μm .

LDS merupakan diode semikonduktor yang memancarkan berkas laser yang koheren. Panjang gelombang laser diode sangat bergantung celah pita (*bandgap*) suatu material di mana elektron dan hole-hole direkombinasikan. Laser diode bekerja berdasarkan sifat fisis elektron pada bahan semikonduktor. Arus laser diode dihasilkan oleh elektron dan hole yang bergerak bebas ketika bahan dikenai medan listrik. Pemanjaran maju hubungan pn (*pn junction*) akan menurunkan tingkat potensial penghalang (*barrier potensial*), hal ini mengakibatkan carrier (hole pada material jenis p dan elektron pada material jenis n) bergerak menuju junction (sambungan) dengan leluasa. Peristiwa Bergeraknya hole pada material jenis p dan elektron pada material jenis-n, menuju ke junction disebut rekombinasi elektron-hole, gambar 2.6 mengilustrasikan peristiwa rekombinasi. Pemanjaran maju suatu diode semikonduktor akan menghasilkan aliran arus listrik dan rekombinasi elektron dan hole pada junction akan menghasilkan energi. Untuk diode silikon energi yang terbentuk panas, akan tetapi diubah menjadi pancaran cahaya. Untuk material yang memancarkan cahaya, energi yang terpancar akan terbentuk saat elektron lepas dari pita

konduksi menuju pita valensi pada saat peristiwa rekombinasi terjadi. Besarnya energi yang terpancar bergantung pada lebar pita (*bandgap*) pita konduksi dan pita valensi pada gambar 2.6 dan gambar 2.7



Gambar 2.6 Peristiwa Rekombinasi



Gambar 2.7 Struktur tingkat energi semikonduktor secara umum

Untuk campuran dua unsur (*binari*) seperti gallium arsenide bandgapnya hanya memiliki satu nilai λ , namun untuk LDS yang terbentuk dari tiga unsur (*trinari*), seperti GaAlAs 780 atau empat unsur (*quartinari*) seperti InGaAsP terdapat rentang panjang gelombang.

Pada tabel tampak pengelompokkan LDS berdasarkan unsur pembentuknya dan panjang gelombang (λ) yang dihasilkan secara umum laser diode semikonduktor yang terbentuk dari campuran unsur – unsur golongan III

dan golongan V dapat dioperasikan pada suhu ruang ($\pm 24^{\circ}$ C), kecuali yang dipergunakan untuk keperluan militer dapat dioperasikan dari suhu -55° C sampai 60° C.

Tabel 2.1 Pengelompokkan LDS berdasarkan unsur pembentuk dan panjang gelombang yang dihasilkan.

Jenis	Bahan	Panjang gelombang λ (nm)
Binari	GaAs	904
Trinari	GaAlAs	750 – 900
Quartinari	InGaAsP	1000 – 1700



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dilaboratorium Fisika Optik dan Aplikasi laser jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Airlangga.

Waktu yang diperlukan untuk penelitian kurang lebih selama 2 semester (satu tahun) berlangsung sejak September 2005 sampai Juni 2006.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Komputer

Berfungsi sebagai alat untuk melihat hasil pola distribusi intensitas difraksi.

Spesifikasi dari komputer yang akan digunakan adalah :

- Komputer Pentium III 700 MHz, hal ini dikarenakan program (software) detektor CCD garis (LC 1 Line Camera) dapat bekerja jika menggunakan komputer minimal dengan kecepatan 500 MHz.
- Memori (RAM) 64 MB.
- Hard disk dengan kapasitas 20 GB.
- CD – ROM dan floppy disk.

2. Penyedia Daya (Power supply)

Berfungsi sebagai alat untuk menghasilkan tegangan arus ac.

3. Celah lingkaran

Berfungsi sebagai alat penghalang terhadap sumber cahaya yang masuk.

4. Detektor CCD (Charge Couple Devices) Garis Tipe ILX526A

Berfungsi sebagai pendeteksi intensitas yang datang dan mengubahnya menjadi sinyal listrik.

5. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

a. Laser He-Ne

Berfungsi sebagai sumber cahaya untuk penentuan diameter celah lingkaran.

Spesifikasi dari laser ini adalah:

1 Daya keluaran maksimum 10 mW

2 Panjang gelombang 632,8 nm.

b. Laser Diode GaAlAs

Merupakan sumber cahaya monokromatis dan koheren yang digunakan sebagai sumber radiasi.

Spesifikasi dari laser ini adalah:

1. Daya keluaran ± 5 mW.

2. Panjang gelombang 780 nm

6. Kabel Penghubung

Kabel penghubung yang digunakan yaitu :

a. Kabel paralel : kabel yang menghubungkan interface CCD ke komputer.

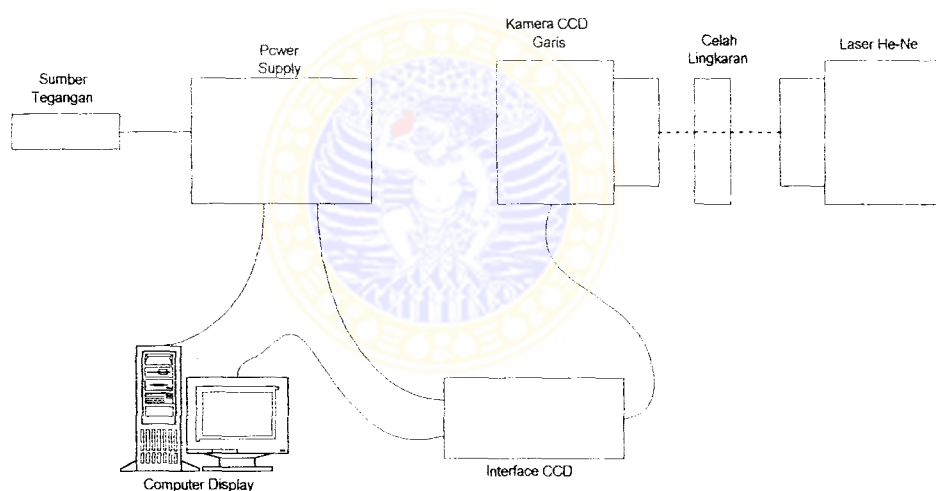
b. Kabel power interface : kabel yang menghubungkan interface CCD ke power supply.

- c. Kabel interface : kabel yang menghubungkan interface CCD ke kamera CCD garis.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Penyusunan Alat

Menentukan diameter celah lingkaran dengan mengkonversi nilai panjang gelombang laser He-Ne yang telah diketahui dengan alat ukur yang digunakan untuk mengukur jarak celah ke CCD, jarak celah ke detektor, bilangan Fresnel untuk $N=1$, $N=2$, $N=3$, $N=4$. Penyusunan alat untuk menentukan distribusi intensitas berpola Gaussian dari laser He-Ne, secara skematik seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Diagram untuk menentukan pola distribusi intensitas dengan laser He-Ne

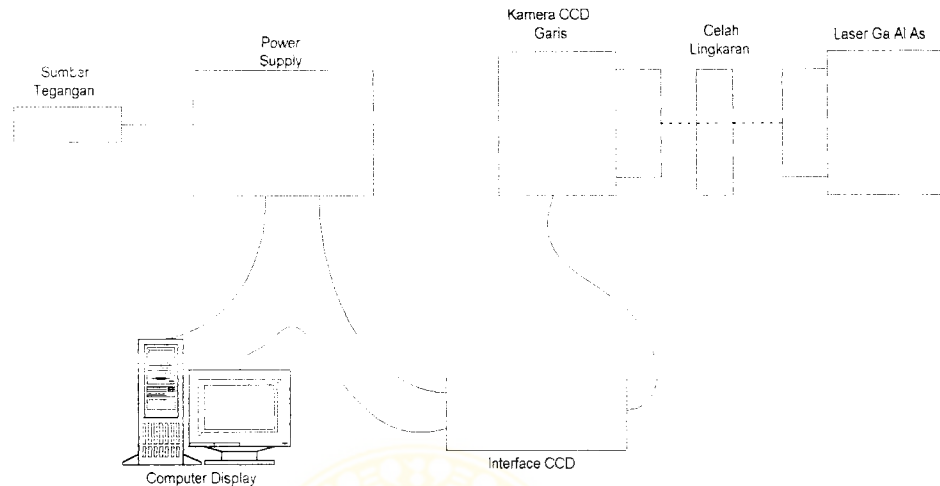
Pada penelitian ini sumber cahaya, celah lingkaran, detektor CCD harus benar-benar presisi dan sejajar dalam satu garis lurus.

Langkah-langkah untuk menentukan pola distribusi intensitas laser He-Ne adalah:

- a. Menentukan jari-jari celah menggunakan panjang gelombang laser He-Ne (632,8 nm) oleh persamaan (2.13) dan menentukan jari-jari celah menggunakan panjang gelombang laser GaAlAs (780 nm).
- b. Menghubungkan kabel-kabel CCD ke komputer
- c. Menempatkan sumber cahaya laser He-Ne dihubungkan dengan sumber tegangan.
- d. Melewatkan cahaya keluaran laser He-Ne pada celah lingkaran yang diameter celah sudah ditentukan sebelumnya dengan menggunakan panjang gelombang laser He-Ne.
- e. Mengatur posisi sumber cahaya laser He-Ne sedemikian rupa terhadap celah lingkaran dan detektor CCD dengan jarak yang telah ditentukan dari celah lingkaran ke detektor CCD agar terbentuk distribusi intensitas pola difraksi secara langsung pada komputer.
- f. Setelah distribusi intensitas pola difraksi tampak pada komputer, kemudian sumber cahaya laser He-Ne diganti dengan laser diode GaAlAs.

3.3.2 Penentuan Panjang Gelombang Cahaya Berupa Celah Lingkaran Dengan Menggunakan Laser GaAlAs

Penyusunan alat untuk menentukan panjang gelombang cahaya laser GaAlAs berupa celah lingkaran dapat ditunjukkan pada gambar sebagai berikut :



Gambar 3-2 : Skema Untuk Menentukan Panjang Gelombang Laser GaAlAs

Langkah-langkah untuk menentukan panjang gelombang laser GaAlAs:

- a. Menghubungkan kabel-kabel CCD ke komputer.
- b. Menempatkan sumber cahaya laser GaAlAs dihubungkan dengan sumber tegangan.
- c. Melewatkan cahaya keluaran laser GaAlAs pada celah lingkaran
- d. Mengatur posisi sumber cahaya terhadap celah lingkaran dan detektor CCD sedemikian rupa dengan jarak yang telah ditentukan dari sumber cahaya ke celah lingkaran agar terbentuk distribusi intensitas pola difraksi secara langsung pada komputer.
- e. Kemudian disesuaikan pola distribusi intensitas untuk $N=1$, $N=2$, $N=3$ dan $N=4$ dengan mengubah jarak celah ke detektor CCD sehingga mendapatkan

distribusi intensitas pola yang sama dengan yang didapatkan menggunakan laser He-Ne agar panjang gelombang laser GaAlAs dapat ditentukan.

- f. Menentukan panjang gelombang laser GaAlAs dengan menggunakan persamaan (2.13).

3.3.3 Perhitungan Diameter Celah Lingkaran

Untuk menentukan diameter atau jari-jari celah lingkaran digunakan persamaan (2.13) yang sudah diketahui nilai panjang gelombang acuan laser yang digunakan yaitu laser He-Ne dan laser GaAlAs, jarak celah lingkaran ke detektor CCD dengan bilangan Fresnel $N=1$, $N=2$, $N=3$, $N=4$.

3.3.4 Langkah-langkah Pengambilan data

Dalam pengambilan data langkah-langkah yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran jarak antara celah lingkaran dengan detektor CCD dengan menggunakan laser GaAlAs untuk bilangan Fresnel $N=1$, $N=2$, $N=3$ dan $N=4$ dengan variasi diameter celah.
2. Menentukan panjang gelombang laser GaAlAs dengan menggunakan persamaan (2.13) yang sudah diketahui jarak celah ke CCD, kemudian diameter celah, dan bilangan Fresnel $N=1$, 2 , 3 dan 4 .

3.4 Metode Analisis Data

3.4.1 Pengumpulan data

Data yang didapatkan terlebih dahulu yaitu diameter celah lingkaran dengan bilangan Fresnel $N=1$, $N=2$, $N=3$ dan $N=4$ yang didapatkan dari penelitian dengan menggunakan persamaan (2.13). Kemudian didapatkan distribusi intensitas laser He-Ne. Setelah itu dengan menggunakan laser GaAlAs mendapatkan data

distribusi intensitasnya dan jarak celah ke detektor CCD dengan variasi diameter celah.

3.4.2 Analisa data

Dari grafik distribusi intensitas pola difraksi dengan menggunakan detektor CCD garis dapat ditentukan nilai panjang gelombang sumber cahaya. Untuk menentukan panjang gelombang laser GaAlAs, data yang didapat dari penelitian diolah dengan menggunakan persamaan (2.13). Persamaan tersebut terhadap suku-suku R dan Z yang masing-masing variabel melambangkan besaran jari-jari celah lingkaran dan jarak celah lingkaran ke detektor. Untuk mengetahui prosentase kesalahan nilai panjang gelombang laser GaAlAs harus dibandingkan dengan referensi yang sudah ada. Ketakpastian λ untuk setiap bilangan Fresnel $N=1, N=2, N=3$ dan $N=4$ adalah:

$$\sigma_{\lambda}^2 = \left[\frac{\partial \lambda}{\partial R_n} \right]^2 (\sigma_{R_n})^2 + \left[\frac{\partial \lambda}{\partial Z} \right]^2 (\sigma_Z)^2$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Distribusi Intensitas Difraksi Laser He-Ne

1. Hasil penelitian ini berupa pola difraksi distribusi intensitas laser He-Ne yang dideteksi dengan menggunakan detektor CCD untuk bilangan Fresnel $N=1, 2, 3$ dan 4 . Untuk setiap bilangan Fresnel mempunyai jari-jari celah : $0,609$ mm ; $0,861$ mm ; $1,055$ mm; $1,218$ mm., kemudian hasil distribusinya tampak pada layar monitor komputer. Hasil distribusi intensitas yang sudah di cetak dengan menggunakan kertas A4 menunjukkan pola difraksi. Pola difraksi yang sebenarnya terjadi pada pergeseran detektor CCD yang digerakkan terhadap celah lingkaran. Pola difraksi distribusi intensitas He-Ne dapat dilihat pada lampiran A. Distribusi intensitas laser GaAlAs yang dilewatkan melalui celah lingkaran untuk bilangan Fresnel $N=1, 2, 3$ dan 4 dengan jari-jari celah bervariasi yaitu $0,676$ mm ; $0,956$ mm ; $1,171$ mm ; $1,352$ mm kemudian dideteksi menggunakan CCD, posisi CCD yang digunakan dengan posisi sejajar dan tegak lurus terhadap sumber cahaya tak tampak (laser GaAlAs) dengan variasi lebar celah dan jarak dari celah ke CCD. Hasil distribusi intensitas dengan posisi CCD sejajar dapat dilihat pada lampiran B sedangkan distribusi intensitas untuk posisi CCD tegak lurus dapat dilihat pada lampiran B.

2. Hasil pengukuran jarak dari celah ke posisi CCD sejajar dan penentuan panjang gelombang dengan menggunakan laser GaAlAs dapat dilihat pada lampiran B tabel B-3, sedangkan untuk posisi CCD tegak lurus hasil pengukuran jarak dan nilai panjang gelombang laser GaAlAs dapat dilihat pada lampiran B tabel B-4.
3. Setelah melalui proses perhitungan dapat dilihat pada lampiran B, nilai panjang gelombang laser GaAlAs dengan posisi CCD sejajar dengan bilangan Fresnel $N=1$, $N=2$, $N=3$ dan $N=4$ dapat dilihat pada table B-3. Sedangkan untuk posisi CCD tegak lurus nilai panjang gelombang GaAlAs dapat dilihat pada table B-4.

4.2 Pembahasan

Hasil penelitian yang pertama adalah penentuan distribusi intensitas pola difraksi Fresnel dengan menggunakan laser He-Ne pada lampiran A, untuk bilangan Fresnel $N=1$, 2, 3 dan 4. Bilangan Fresnel ganjil yaitu $N=1$ dan $N=3$ pusat berkasnya menunjukkan pusat terang sedangkan untuk bilangan Fresnel genap yaitu $N=2$ dan $N=4$ akan diperoleh pusat berkasnya menunjukkan pusat gelap serta daerah Fresnel bergantung pada bilangan Fresnelnya. Distribusi intensitas difraksi Fresnel menggunakan laser GaAlAs yang dilewatkan pada celah lingkaran kemudian dideteksi dengan posisi detektor CCD sejajar pada lampiran B dan posisi CCD tegak lurus terhadap laser GaAlAs pada lampiran B menunjukkan distribusi intensitas yang cenderung sama dengan menunjukkan sebuah puncak maksimum ketika jumlah daerah Fresnel itu adalah ganjil. Untuk bilangan Fresnel ganjil $N=1$ dan $N=3$ terbentuk pusat berkas pada puncak maksimal. Jika daerah Fresnel adalah genap yaitu $N=2$ dan $N=4$ maka intensitas

minimum di pusat berkas pada lampiran B terlihat berbentuk lembah. Intensitas maksimum dan minimum bergantung pada nilai panjang gelombang berdasarkan bilangan Fresnel. Intensitas maksimum pada CCD atau batas intensitas maksimum yang dideteksi CCD menggunakan sumber laser He-Ne dengan daya 15 mW dapat dilihat pada gambar B-10 dengan $V_0 = 13,500$ V, ini menjelaskan bahwa batas intensitas maksimum yang dideteksi oleh CCD. Dari gambar B-1 sampai dengan gambar B-8 dapat dilihat intensitas maksimum untuk setiap bilangan Fresnel dengan mengkalibrasi terlebih dahulu, dengan setiap satu skala sumbu vertical CCD sama dengan 2,7 mV. Bilangan Fresnel $N=1$ dengan jarak 56,666 cm diperoleh 1 puncak dengan nilai intensitas maksimum 9,909 V dan $N=4$ dengan jarak 56,16 cm diperoleh 4 puncak dengan nilai intensitas maksimum 4,376 V. Sedangkan dengan detektor CCD tegak lurus untuk $N=1$ dengan jarak 56,666 cm diperoleh 1 puncak dengan nilai intensitas maksimum 9,725 V dan $N=4$ dengan jarak 56,333 cm diperoleh 4 puncak dengan intensitas maksimum 1,109 V. Pada penelitian ini digunakan variasi celah dan jarak celah ke CCD, hal ini dikarenakan perbedaan jarak antara $N=1$ dan $N=2$ cukup jauh sekitar 2 m dengan menggunakan panjang gelombang GaAlAs 780 nm dan diameter celah 0,676mm.

Pada hasil yang kedua, nilai panjang gelombang cahaya tak tampak laser GaAlAs dengan menggunakan metode difraksi Fresnel dipengaruhi oleh jari-jari celah yang dinotasikan oleh R , jarak antara celah dengan detektor CCD yang dinotasikan dengan Z dan bilangan Fresnel yang dinotasikan oleh N . Setelah melalui proses perhitungan didapatkan nilai panjang gelombang GaAlAs dengan posisi detektor CCD sejajar sebesar $(8,035 \pm 0,010) \cdot 10^{-7}$ m. Sedangkan nilai panjang gelombang GaAlAs dengan posisi CCD tegak lurus sebesar $(8,005 \pm$

$0,010) \cdot 10^{-7}$ m. Jadi hasil yang didapatkan dari keduanya mempunyai nilai panjang gelombang mendekati sama. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran B. Sehingga hasil intensitas maksimum untuk $N=1$ dan $N=3$ lebih besar jika dibandingkan $N=2$ dan $N=4$. Perbandingan nilai panjang gelombang laser GaAlAs dengan CCD sejajar dan tegak lurus memiliki perbedaan rata-rata sebesar 3×10^{-9} dapat dilihat pada table B-5. Nilai S / n (Signal to noise ratio), dengan S adalah intensitas maksimum sedangkan n adalah ambang batas intensitas pada saat akan diberi sumber dapat dilihat juga pada gambar B-9.

Pada hasil yang ketiga didapatkan nilai panjang gelombang GaAlAs untuk posisi CCD sejajar dan tegak lurus jika dibandingkan dengan referensi panjang gelombang laser GaAlAs, dimana panjang gelombang laser GaAlAs berupa rentang antara $7,500 \times 10^{-7}$ m sampai $9,00 \times 10^{-7}$ m sehingga didapatkan prosentase kesalahan sebesar 7,13% sampai 10,72% untuk posisi CCD sejajar dan sebesar 6,73% sampai 11,05% untuk posisi CCD tegak lurus. Hasil prosentase kesalahan nilai panjang gelombang yang didapatkan dari dua posisi CCD yang sejajar dan tegak lurus diperoleh nilai panjang gelombang yang hampir sama. Untuk lebih meningkatkan keakuratan hasil penelitian dalam hal nilai panjang gelombang maka dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk bilangan Fresnel yang lebih tinggi (*high order*)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Pola difraksi distribusi intensitas laser GaAlAs dapat dideteksi oleh CCD. Sehingga dapat dihasilkan distribusi intensitas laser GaAlAs. Jika bilangan Fresnel ganjil pusat berkasnya menunjukkan intensitas maksimal, sedangkan untuk bilangan Fresnel genap pusat berkasnya menunjukkan intensitas minimum.
2. Panjang gelombang cahaya tak tampak laser GaAlAs dapat diukur dengan menggunakan metode difraksi Fresnel dan detektor CCD garis sehingga dengan posisi CCD sejajar nilai panjang gelombang yaitu sebesar $(8,035 \pm 0,010) \cdot 10^{-7} \text{ m}$, sedangkan posisi CCD tegak lurus terhadap laser GaAlAs didapatkan nilai panjang gelombang sebesar $(8,005 \pm 0,010) \cdot 10^{-7} \text{ m}$.
3. Hasil pengukuran panjang gelombang cahaya tak tampak dari sumber laser GaAlAs jika dibandingkan dengan referensi panjang gelombang GaAlAs yaitu $7,500 \times 10^{-7} \text{ m}$ sampai $9,00 \times 10^{-7} \text{ m}$ mempunyai prosentase kesalahan 7,13% sampai 10,72% untuk posisi CCD sejajar dan 6,73% sampai 11,05% untuk posisi CCD tegak lurus.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 2003, *LC1 Line Camera Operating Manual*, Thorlabs, USA
- R. Awang Wahono Affandhi, 1999, *Penentuan Panjang Gelombang Cahaya Tak Tampak Dengan Menggunakan Metode Difraksi Fraunhofer*, Skripsi, jurusan Fisika FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Beiser, Arthur, 1981, *Modern Technical Physics Sixth Edition*, New York.
- Guenther, Robert.D, 1990, *Modern Optic*, John Willey and Son, USA.
- Halliday and Resnick, 1978, *Fisika Jilid 2 Edisi Ketiga*, John Willey and Son, New York.
- Hecht. J. 1986. *The Laser Guide Book*. Mc Graw – Hill Book Company. New York.
- Hect Eugene, 1990, *Optics Second Edition*, Adisson – Wesley Publishing Company, INC, Massachussets.
- Jenkin and White, 1957, *Fundamental of Optic*, John Willey and Son, New York.
- J-F Bisson, Yu. Senatsky, and Ken- Ichi Ueda, 2005 , *Generation Of Laguerre – Gaussian modes*, Laser Physics.Letter /www.lphys.org.
- Krusek, P. W. Mc Glaughin L. D and Mc Quistan, R. B, 1961, *Elements Of Infrared Technology*, Jhon Willey and Sons. INC. New York.
- Moller, K.D, 1988, *Optics*, New Jersey, Mill Valey California.
- Sears F. W, and Zemansky M. W. 1994, *College Physics*, 7th ed. Addison – Wesley, Publishing INC, Massachussets.
- Soegiarto, 2000, *Komputerisasi Sistem Pengukur Diameter Objek Berorde Panjang Gelombang Cahaya*, Skripsi, jurusan Fisika FMIPA Universitas Airlangga, Surabaya.
- Sze, S. M. 1981, *Physics Of Semikonduktor Devices*, 2nd ed, Jhon Willey and Sons, New York.
- Tjia, M.O, 1994, *Gelombang*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wyant, James. C, *Fresnel Diffraction*, Jurnal Optic 505, [http // www. google. com](http://www.google.com)

LAMPIRAN A

LASER He-Ne

➤ Perhitungan jari-jari celah dengan laser He-Ne menggunakan persamaan

(2.13)

$$\lambda = 632,8 \text{ nm} = 632,8 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$Z = 58,6 \text{ cm}$$

○ Untuk $N=1 \rightarrow 1 = \frac{R^2}{632,8 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 3708,208 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$R = 60,89505721 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 0,609 \text{ mm}$$

○ Untuk $N=2 \rightarrow 2 = \frac{R^2}{632,8 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 7416,416 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$R = 86,11861587 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 0,861 \text{ mm}$$

○ Untuk $N=3 \rightarrow 3 = \frac{R^2}{632,8 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 11124,624 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$R = 105,4733331 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 1,055 \text{ mm}$$

○ Untuk $N=4 \rightarrow 4 = \frac{R^2}{632,8 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 14832,832 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

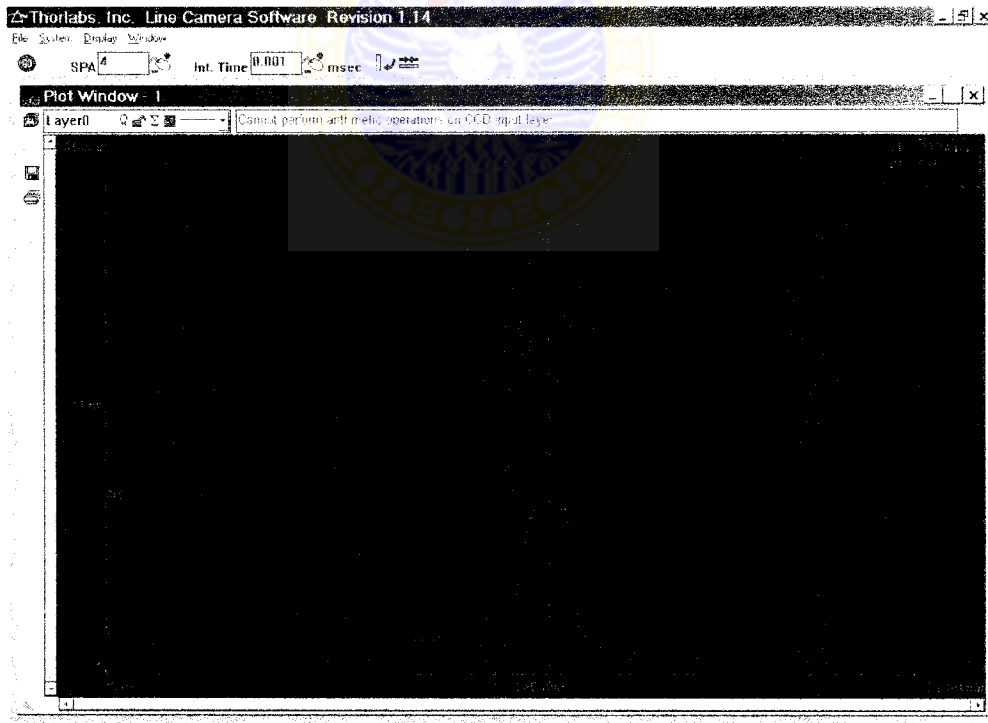
$$R = 121,7901145 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 1,218 \text{ mm}$$

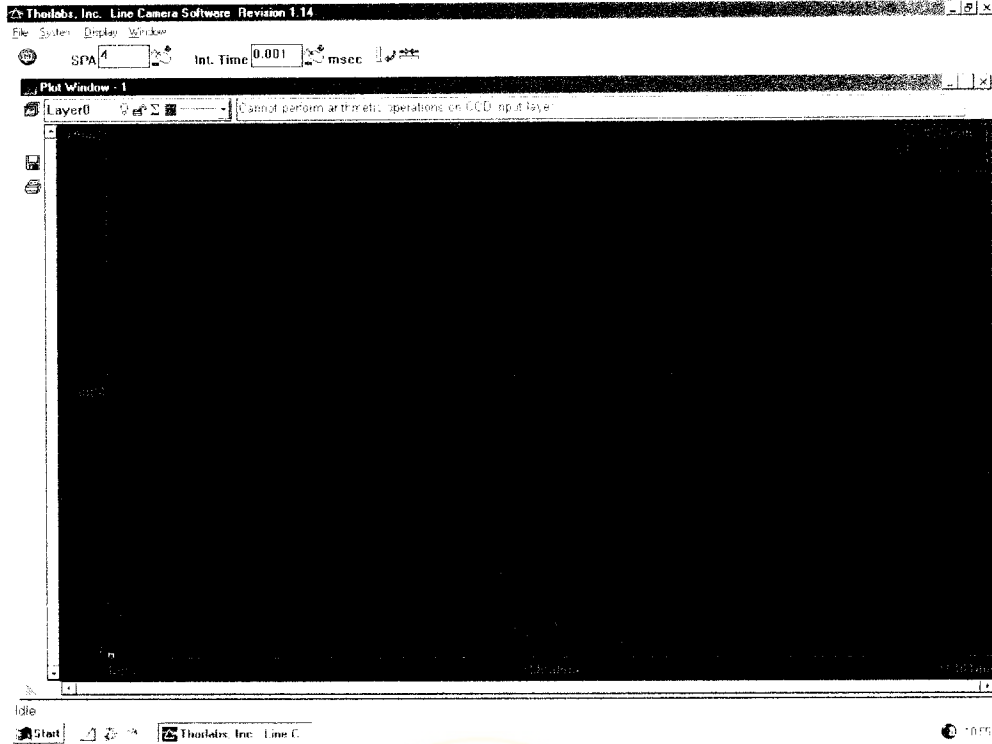
Tabel A-1 : Penentuan jari-jari celah (R)

N	Jarak celah ke CCD (Z) mm	Jari-jari celah ($R \pm \sigma R$) mm
1	586 ± 0,5	0,609 ± 0,0005
2	586 ± 0,5	0,861 ± 0,0005
3	586 ± 0,5	1,055 ± 0,0005
4	586 ± 0,5	1,218 ± 0,0005

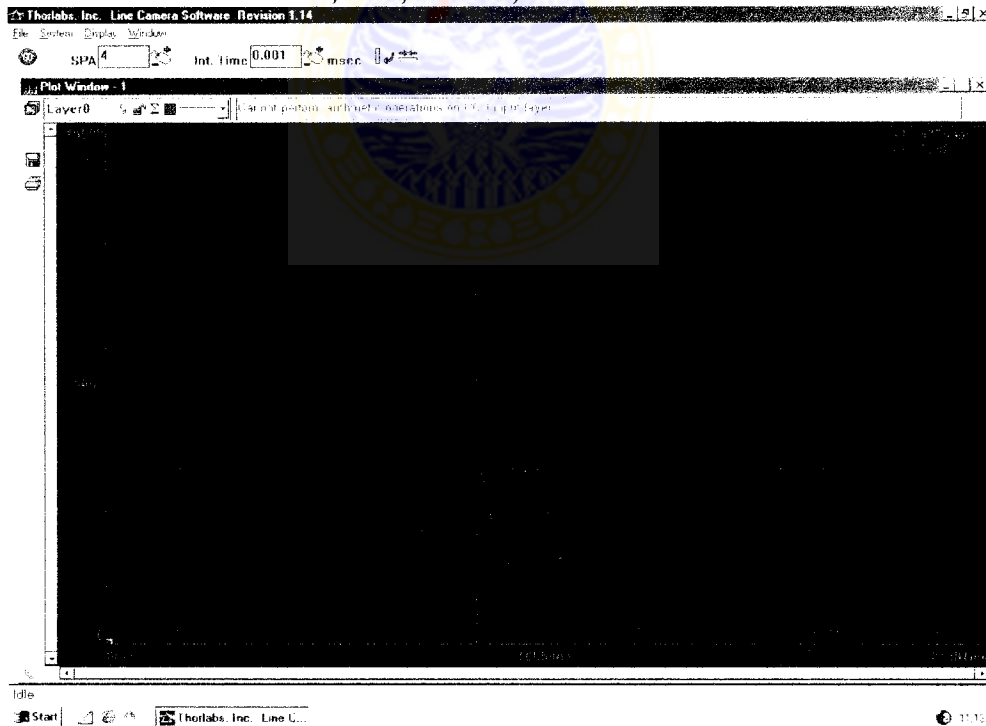
➤ **Gambar distribusi intensitas difraksi Fresnel untuk bilangan Fresnel N=1, 2, 3 dan 4**



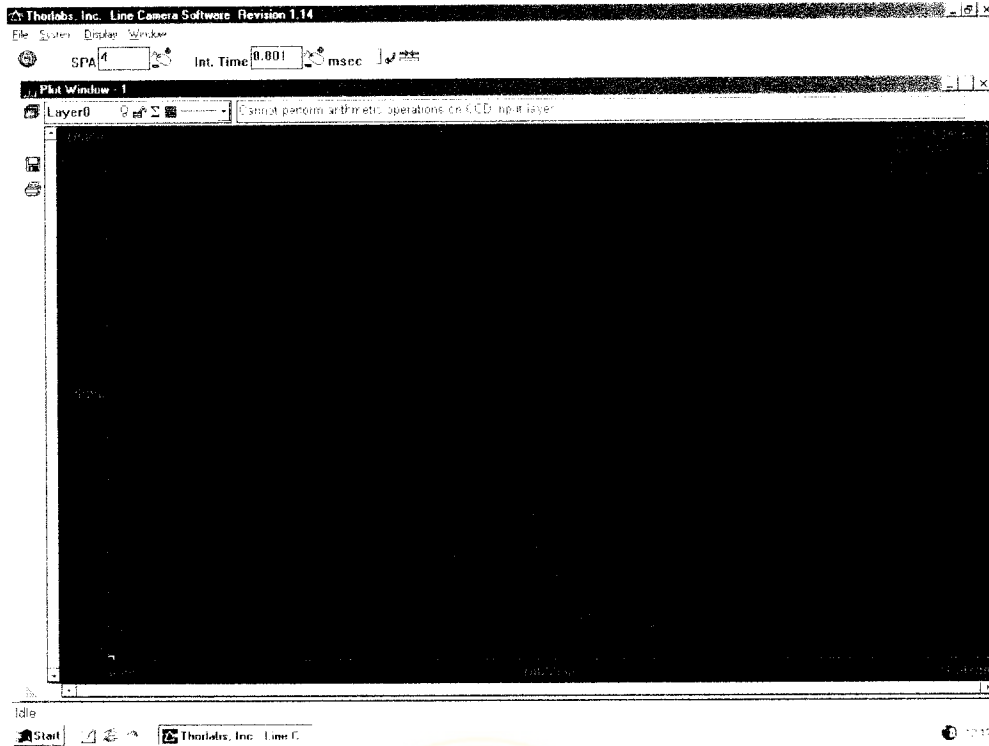
Gambar A-1 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel N=1, R=0,609 mm, dan Z=586 mm



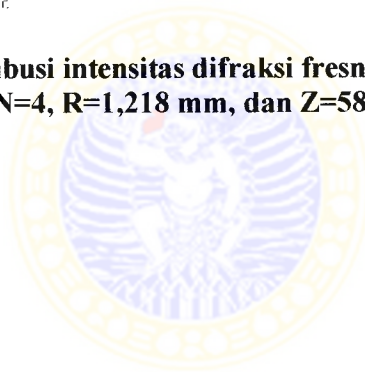
Gambar A-2 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel $N=2$, $R=0,861$ mm, dan $Z=586$ mm



Gambar A-3 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel $N=3$, $R=1,055$ mm, dan $Z=586$ mm



Gambar A-4 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel $N=4$, $R=1,218$ mm, dan $Z=586$ mm



LAMPIRAN B
LASER GaAlAs

Table B-1 : Data jarak celah ke CCD Dengan Posisi CCD Sejajar

N	$Z_{(1)}$ cm	$Z_{(2)}$ cm	$Z_{(3)}$ cm	Z cm
1	56,2	55,3	57,5	56,666
2	57,3	56,9	58,0	57,400
3	57,0	56,6	58,2	57,266
4	56,8	55,0	56,7	56,166

Table B-2 : Data jarak celah ke CCD Dengan Posisi CCD Tegak Lurus

N	$Z_{(1)}$ cm	$Z_{(2)}$ cm	$Z_{(3)}$ cm	Z cm
1	56,3	56,5	57,2	56,666
2	57,3	57,6	58,0	57,633
3	57,1	57,8	58,3	57,733
4	56,5	56,7	55,8	56,333

➤ **Perhitungan jari-jari celah dengan laser GaAlAs menggunakan persamaan (2.13)**

$$\lambda = 780 \text{ nm} = 780 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$Z = 58,6 \text{ cm}$$

○ Untuk $N=1 \rightarrow 1 = \frac{R^2}{780 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 4570,800 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$R = 67,60769187 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 0,676 \text{ mm}$$

○ Untuk $N=2 \rightarrow 2 = \frac{R^2}{632,8 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 9141,6 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$R = 95,61171476 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 0,956 \text{ mm}$$

○ Untuk $N=3 \rightarrow 3 = \frac{R^2}{632,8 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 13712,4 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$R = 117,099 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 1,171 \text{ mm}$$

○ Untuk $N=4 \rightarrow 4 = \frac{R^2}{632,8 \times 10^{-7} \times 58,6}$

$$R^2 = 18283,2 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

$$R = 135,2153837 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$R = 1,352 \text{ mm}$$

- Perhitungan panjang gelombang GaAlAs dengan bilangan Fresnel $N=1$, 2, 3, dan 4 menggunakan persamaan (2.13)

• **CCD SEJAJAR**

- Untuk $N=1$

$$Z = 56,5666667 \text{ cm} = 566,66 \text{ mm}$$

$$R = 0,676 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 1 = \frac{(0,676)^2}{\lambda \times 566,66}$$

$$566,66 \lambda = 0,456976 \text{ mm}$$

$$\lambda = 8,064282352 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sigma \lambda_1 &= \sqrt{\left(\frac{2R}{NZ}\right)^2 (\sigma R)^2 + \left(\frac{-R^2}{NZ^2}\right)^2 (\sigma Z)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 0,676}{1 \times 566,66}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(0,676)^2}{1(566,66)^2}\right)^2 (0,5)^2} \\ &= \sqrt{1,423142136 \times 10^{-12} + 0,5063333848 \times 10^{-12}} \\ &= \sqrt{1,929475521 \times 10^{-12}} \end{aligned}$$

$$\sigma \lambda_1 = 1,389055622 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma \lambda) = (8,064 \pm 0,013) \times 10^{-4} \text{ mm}$$

- Untuk $N=2$

$$Z = 57,4 \text{ cm} = 574 \text{ mm}$$

$$R = 0,956 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 2 = \frac{(0,956)^2}{\lambda \times 574}$$

$$1148 \lambda = 0,9313936 \text{ mm}$$

$$\lambda = 7,961114983 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma\lambda_2 &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 0,956}{2 \times 574}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(0,956)^2}{2(574)^2}\right)^2 (0,5)^2} \\ &= \sqrt{0,6934769149 \times 10^{-12} + 0,4809102314 \times 10^{-12}} \\ &= \sqrt{1,174387146 \times 10^{-12}}\end{aligned}$$

$$\sigma\lambda_2 = 1,083691444 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma \lambda) = (7,961 \pm 0,010) \times 10^{-4} \text{ mm}$$

○ Untuk N= 3

$$Z = 57,266 \text{ cm} = 572,66 \text{ mm}$$

$$R = 1,171 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 3 = \frac{(1,171)^2}{\lambda \times 572,66}$$

$$1718,00001 \lambda = 1,371241 \text{ mm}$$

$$\lambda = 7,98161234 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma\lambda_3 &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 1,171}{3 \times 572,66}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(1,171)^2}{3 \times (572,66)^2}\right)^2 (0,5)^2} \\ &= \sqrt{0,4645982642 \times 10^{-12} + 0,4856659809 \times 10^{-12}} \\ &= \sqrt{0,950264245 \times 10^{-12}}\end{aligned}$$

$$\sigma\lambda_3 = 0,974814979 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma \lambda) = (7,981 \pm 0,009) \times 10^{-4} \text{ mm}$$

○ Untuk N= 4

$$Z = 56,166 \text{ cm} = 561,66 \text{ mm}$$

$$R = 1,352 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 4 = \frac{(1,352)^2}{\lambda \times 561,66}$$

$$2246,666 \lambda = 1,827904 \text{ mm}$$

$$\lambda = 8,136167788 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_{\lambda_4} = \sqrt{\left(\frac{2 \times 1,352}{4 \times 561,66}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(1,352)^2}{4(561,66)^2}\right)^2 (0,5)^2}$$

$$= \sqrt{0,3621482653 \times 10^{-12} + 0,5246054643 \times 10^{-12}}$$

$$= \sqrt{0,886753729 \times 10^{-12}}$$

$$\sigma_{\lambda_4} = 0,941676021 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma \lambda) = (8,136 \pm 0,009) \times 10^{-4} \text{ mm}$$

Tabel B-3 : Penentuan nilai panjang gelombang GaAlAs

N	Z (mm)	(R ± σ R) mm	λ (10 ⁻⁴)mm
1	566,666	0,676 ± 0,0005	(8,064 ± 0,013)
2	574,000	0,956 ± 0,0005	(7,961 ± 0,010)
3	572,666	1,171 ± 0,0005	(7,981 ± 0,009)
4	561,666	1,352 ± 0,0005	(8,136 ± 0,009)

$$\lambda = 8,0355 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

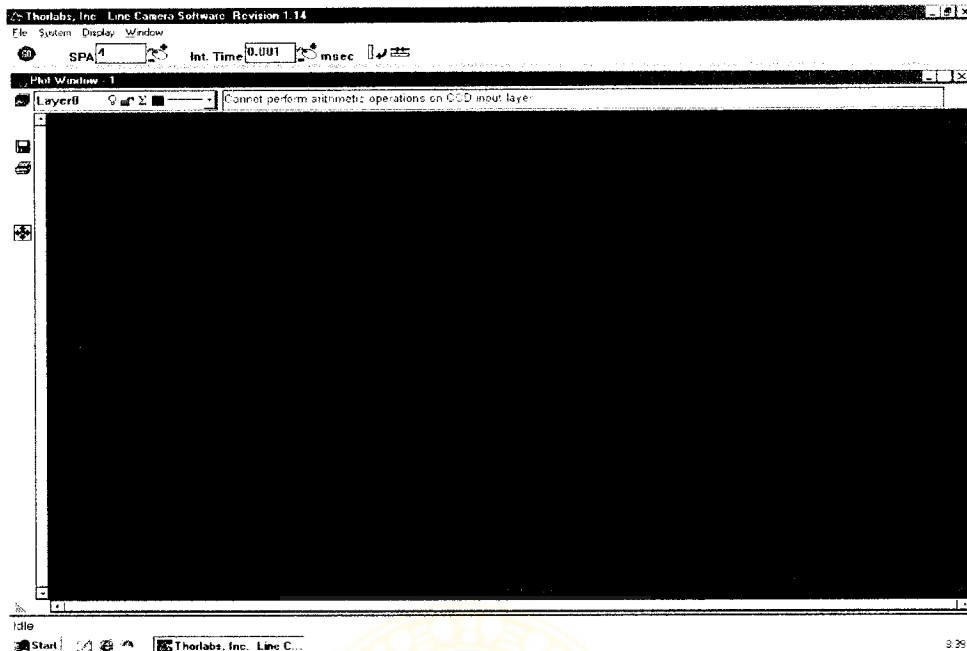
$$\Delta\lambda = 0,01025 \times 10^{-4} \longrightarrow \lambda = (8,035 \pm 0,010) \times 10^{-7} \text{ m}$$

Prosentase kesalahan panjang gelombang GaAlAs :

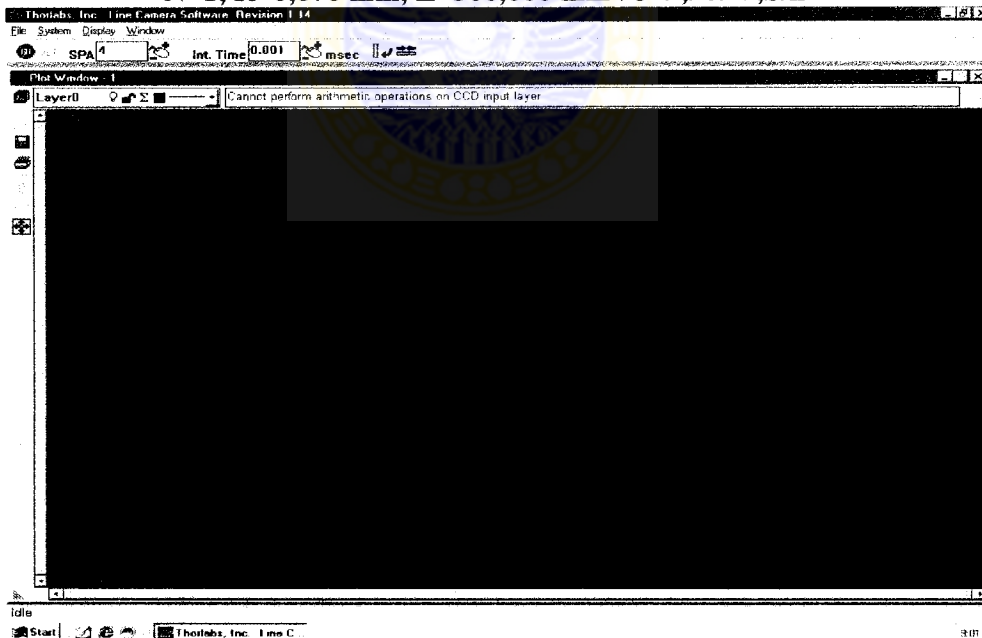
$$\left| \frac{7,50 \times 10^{-7} - 8,035 \times 10^{-7}}{7,50 \times 10^{-7}} \right| \times 100\% = 7,13\%$$

$$\left| \frac{9,00 \times 10^{-7} - 8,035 \times 10^{-7}}{9,00 \times 10^{-7}} \right| \times 100\% = 10,72\%$$

➤ **Gambar distribusi intensitas difraksi Fresnel untuk bilangan Fresnel
N=1, 2, 3 dan 4**



**Gambar B-1 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel
N=1, R=0,676 mm, Z=566,666 mm Vo=9,909V, S/n=9**



**Gambar B-2 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel
N=2, R=0,956 mm, Z=574,000 mm, Vo=3,191V, S/n=4,570**

- **CCD TEGAK LURUS**

- Untuk N=1

$$Z = 56,666 \text{ cm} = 566,66 \text{ mm}$$

$$R = 0,676 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 1 = \frac{(0,676)^2}{\lambda \times 566,66}$$

$$566,66 \lambda = 0,456976 \text{ mm}\lambda$$

$$\lambda = 8,064282352 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sigma\lambda_1 &= \sqrt{\left(\frac{2R}{NZ}\right)^2 (\sigma R)^2 + \left(\frac{-R^2}{NZ^2}\right)^2 (\sigma Z)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 0,676}{1 \times 566,66}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(0,676)^2}{1(566,66)^2}\right)^2 (0,5)^2} \\ &= \sqrt{1,423142136 \times 10^{-12} + 0,5063333848 \times 10^{-12}} \\ &= \sqrt{1,929475521 \times 10^{-12}} \end{aligned}$$

$$\sigma\lambda_1 = 1,389055622 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma\lambda) = (8,064 \pm 0,013) \times 10^{-4} \text{ mm}$$

- Untuk N=2

$$Z = 57,633 \text{ cm} = 576,33 \text{ mm}$$

$$R = 0,956 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 2 = \frac{(0,956)^2}{\lambda \times 576,33}$$

$$1152,666\lambda = 0,9313936 \text{ mm}$$

$$\lambda = 7,928883748 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma\lambda_2 &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 0,956}{2 \times 576,33}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(0,956)^2}{2(576,33)^2}\right)^2 (0,5)^2} \\ &= \sqrt{0,6878810409 \times 10^{-12} + 0,4731803265 \times 10^{-12}} \\ &= \sqrt{1,161061367 \times 10^{-12}}\end{aligned}$$

$$\sigma\lambda_2 = 1,077525576 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma \lambda) = (7,929 \pm 0,010) 10^{-4} \text{ mm}$$

○ Untuk N= 3

$$Z = 57,733 \text{ cm} = 577,33 \text{ mm}$$

$$R = 1,171 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 3 = \frac{(1,171)^2}{\lambda \times 577,33}$$

$$1732 \lambda = 1,371241 \text{ mm}$$

$$\lambda = 7,917141554 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\sigma\lambda_3 &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 1,171}{3 \times 577,33}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(1,171)^2}{3 \times (577,33)^2}\right)^2 (0,5)^2} \\ &= \sqrt{0,4571124287 \times 10^{-12} + 0,4701414881 \times 10^{-12}} \\ &= \sqrt{0,927253916 \times 10^{-12}}\end{aligned}$$

$$\sigma\lambda_3 = 0,962940245 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma \lambda) = (7,917 \pm 0,009) 10^{-4} \text{ mm}$$

○ Untuk N= 4

$$Z = 56,333 \text{ cm} = 563,33 \text{ mm}$$

$$R = 1,352 \text{ mm}$$

$$\rightarrow 4 = \frac{(1,352)^2}{\lambda \times 563,33}$$

$$2253,333 \lambda = 1,827904 \text{ mm}$$

$$\lambda = 8,112048 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\lambda_4} &= \sqrt{\left(\frac{2 \times 1,352}{4 \times 563,33}\right)^2 (0,0005)^2 + \left(\frac{-(1,352)^2}{4(563,33)^2}\right)^2 (0,5)^2} \\ &= \sqrt{0,3600042604 \times 10^{-12} + 0,9216218133 \times 10^{-12}} \\ &= \sqrt{1,281626074 \times 10^{-12}} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\lambda_4} = 1,132089252 \times 10^{-6}$$

$$(\lambda \pm \sigma \lambda) = (8,112 \pm 0,011) 10^{-4} \text{ mm}$$

Tabel B-4 : Penentuan nilai panjang gelombang GaAlAs

N	Z (mm)	(R ± σ R) mm	λ (10 ⁻⁴)mm
1	566,666	0,676 ± 0,0005	(8,064 ± 0,013)
2	576,333	0,956 ± 0,0005	(7,929 ± 0,010)
3	577,333	1,171 ± 0,0005	(7,917 ± 0,009)
4	563,333	1,352 ± 0,0005	(8,112 ± 0,009)

$$\lambda = 8,00525 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

$$\Delta\lambda = 0,01075 \times 10^{-4} \longrightarrow \lambda = (8,005 \pm 0,010) 10^{-7} \text{ m}$$

Prosentase kesalahan panjang gelombang GaAlAs :

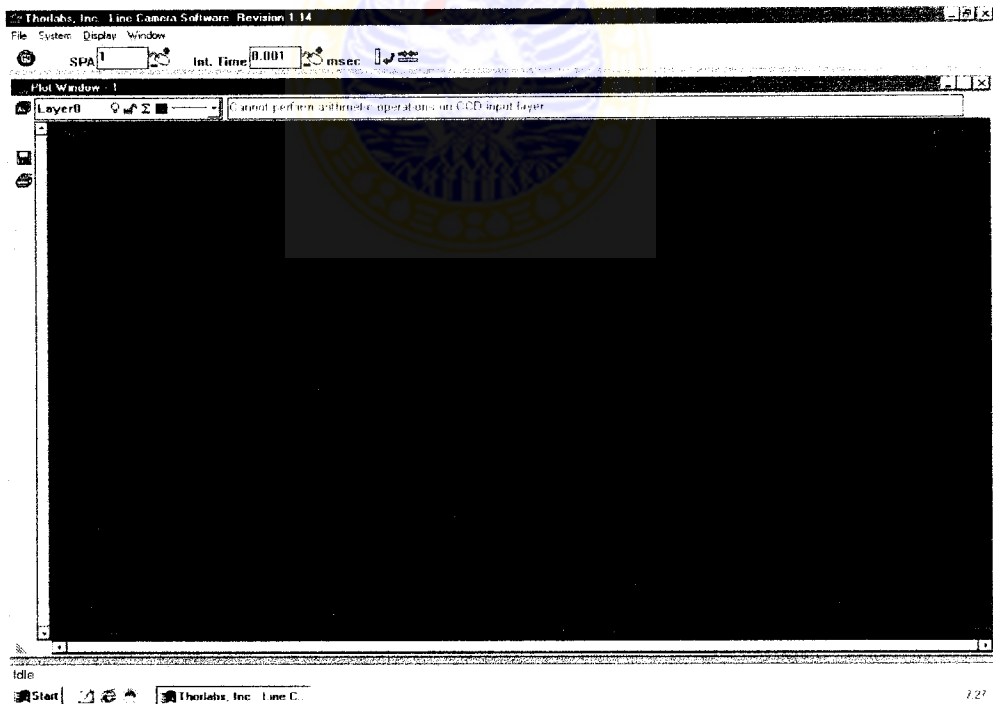
$$\left| \frac{7,50 \times 10^{-7} - 8,005 \times 10^{-7}}{7,50 \times 10^{-7}} \right| \times 100\% = 6,73\%$$

$$\left| \frac{9,00 \times 10^{-7} - 8,005 \times 10^{-7}}{9,00 \times 10^{-7}} \right| \times 100\% = 11,05\%$$

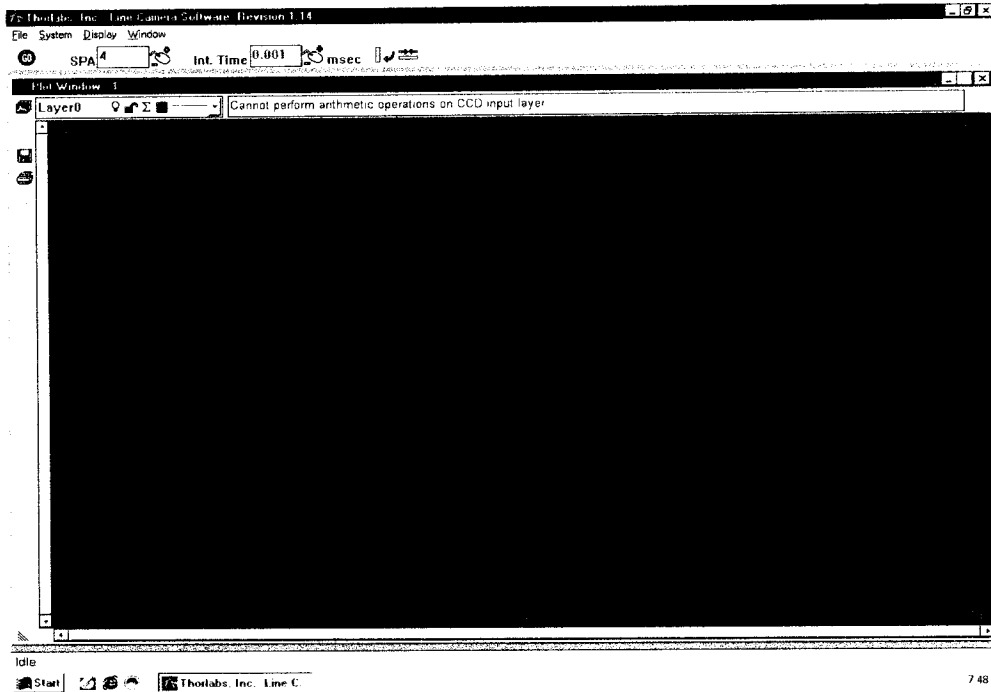
Tabel B-5 : Tabel Hasil Nilai Panjang Gelombang Dengan menggunakan Laser GaAlAs Dengan Posisi CCD Sejajar Dan Tegak Lurus.

N	λ GaAlAs Dengan CCD Sejajar (m)	λ GaAlAs Dengan CCD Tegak Lurus (m)	$\Delta \lambda$	Rata - Rata $\Delta \lambda$
1	$8,064 \times 10^{-7}$	$8,064 \times 10^{-7}$	0	3×10^{-9}
2	$7,961 \times 10^{-7}$	$7,929 \times 10^{-7}$	$6,032 \times 10^{-7}$	
3	$7,981 \times 10^{-7}$	$7,917 \times 10^{-7}$	$0,064 \times 10^{-7}$	
4	$8,136 \times 10^{-7}$	$8,112 \times 10^{-7}$	$0,024 \times 10^{-7}$	

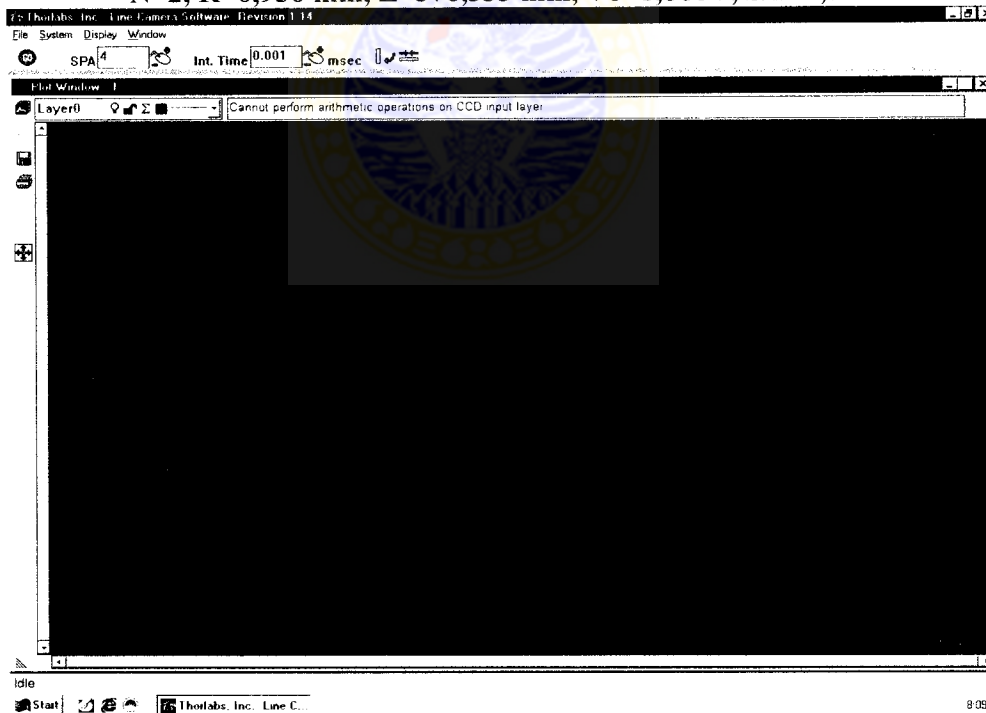
➤ Gambar distribusi intensitas difraksi Fresnel untuk bilangan Fresnel N=1, 2, 3 dan 4



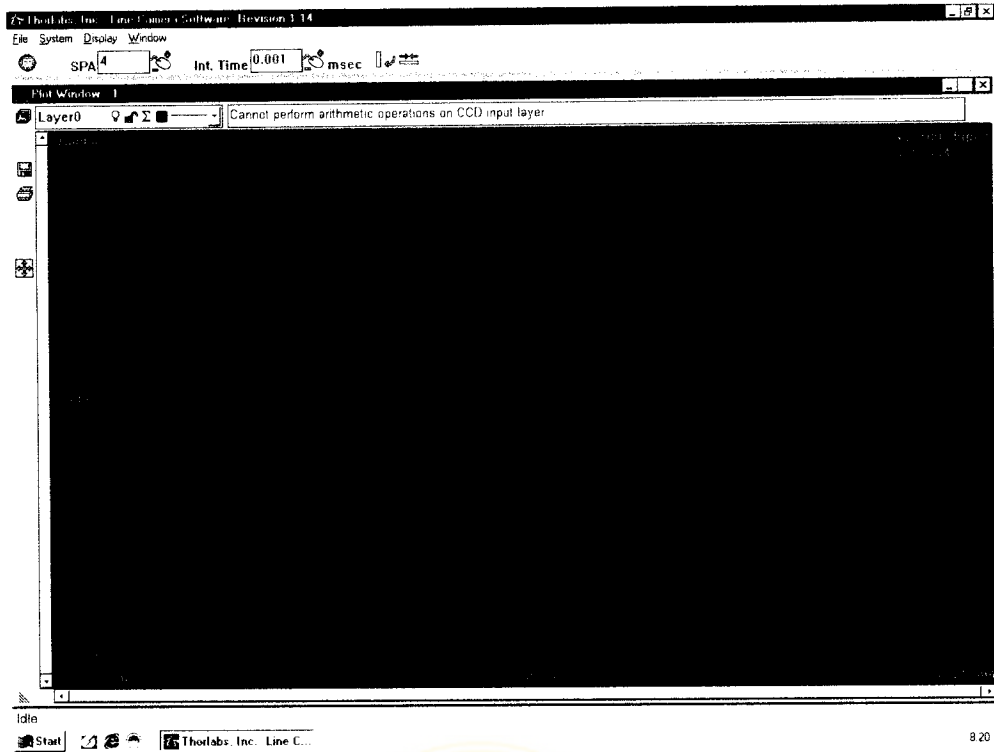
Gambar B-5 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel N=1, R=0,676 mm, Z=566,666 mm, Vo=9,725V, S/n=9,380



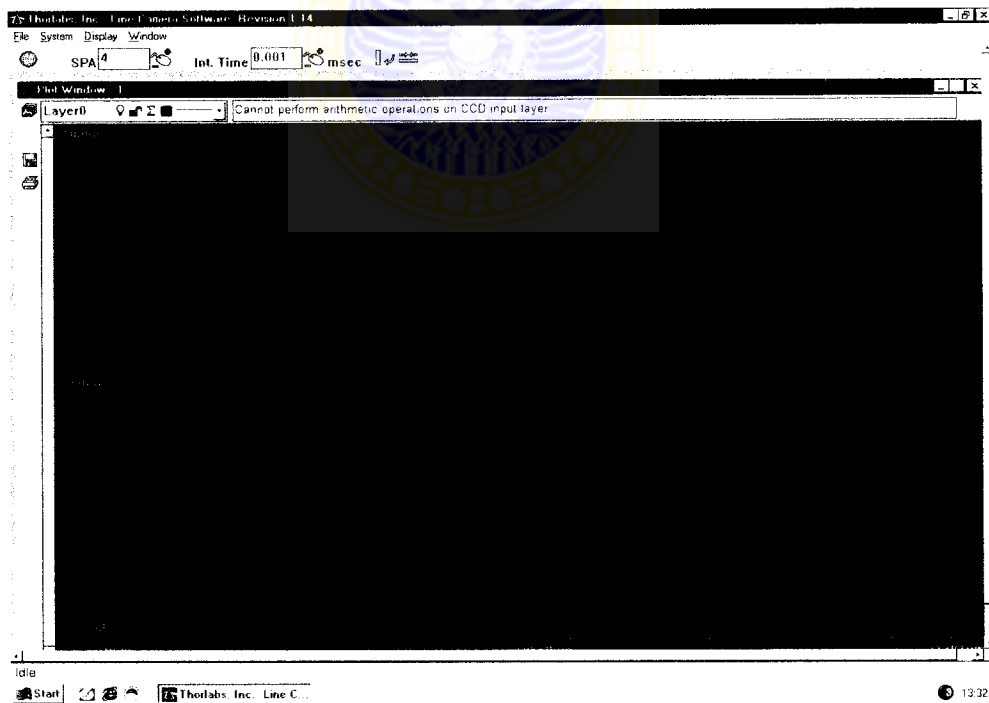
**Gambar B-6 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel
 $N=2$, $R=0,956$ mm, $Z=576,333$ mm, $V_0=1,860V$, $S/n=1,817$**



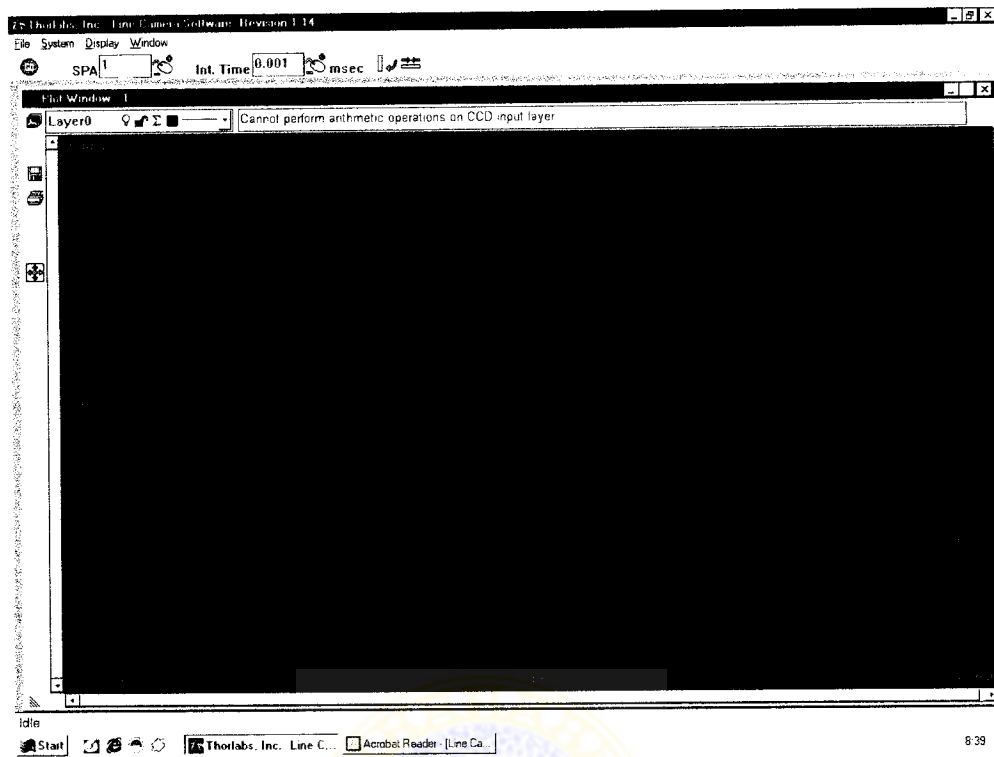
**Gambar B-7 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel
 $N=3$, $R=1,171$ mm, $Z=577,333$ mm, $V_0=10,014V$, $S/n=9,661$**



Gambar B-8 : Distribusi intensitas difraksi fresnel untuk bilangan Fresnel $N=4$, $R=1,352$ mm, $Z=563,333$ mm, $V_0=1,109$ V, $S/n=1,000$



Gambar B-9 : Ambang batas intensitas pada saat akan diberi sumber



**Gambar B-10 : Gambar ambang batas maksimum intensitas yang dideteksi
CCD**

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 56,666 cm untuk N=1

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
8393.0000	3651.2559	8722.0000	3178.6299
8400.0000	3649.4958	8729.0000	3112.7236
8407.0000	3646.4736	8736.0000	3117.2200
8414.0000	3646.3909	8743.0000	3139.0996
8421.0000	3641.5024	8750.0000	3152.5361
8428.0000	3638.6108	8757.0000	3121.8638
8435.0000	3634.8970	8764.0000	3046.2300
8442.0000	3632.5723	8771.0000	2997.1714
8449.0000	3629.1216	8778.0000	2904.7424
8456.0000	3625.4741	8785.0000	2813.1467
8463.0000	3622.1912	8792.0000	2833.7097
8470.0000	3620.2275	8799.0000	2917.6992
8477.0000	3614.6770	8806.0000	2917.8154
8484.0000	3610.6094	8813.0000	2830.9224
8491.0000	3606.9097	8820.0000	2693.5559
8498.0000	3603.2612	8827.0000	2560.8044
8505.0000	3598.5779	8834.0000	2502.9514
8512.0000	3593.0210	8841.0000	2550.8784
8519.0000	3588.6831	8848.0000	2621.1709
8526.0000	3587.7422	8855.0000	2587.7957
8533.0000	3583.2173	8862.0000	2445.6694
8540.0000	3576.7688	8869.0000	2266.8228
8547.0000	3567.0542	8876.0000	2150.7615
8554.0000	3555.3372	8883.0000	2209.2566
8561.0000	3539.7073	8890.0000	2331.5112
8568.0000	3521.9185	8897.0000	2386.7769
8575.0000	3501.9824	8904.0000	2287.9780
8582.0000	3486.3757	8911.0000	2086.4829
8589.0000	3463.3943	8918.0000	1949.7623
8596.0000	3455.8999	8925.0000	1962.2140
8603.0000	3467.7358	8932.0000	2062.9558
8610.0000	3482.9785	8939.0000	2117.6226
8617.0000	3469.1606	8946.0000	2036.1489
8624.0000	3462.8496	8953.0000	1839.3198
8631.0000	3456.8442	8960.0000	1729.2493
8638.0000	3447.3350	8967.0000	1778.6726
8645.0000	3436.7949	8974.0000	1879.3262
8652.0000	3417.6626	8981.0000	1875.1472
8659.0000	3375.9551	8988.0000	1732.0067
8666.0000	3341.4961	8995.0000	1565.4194
8673.0000	3338.6414	8267.0000	3125.9702
8680.0000	3337.6428	8274.0000	3233.4585
8687.0000	3337.1768	8281.0000	3356.6248

8694.0000, 3334.9219	8288.0000, 3462.8120
8701.0000, 3306.7610	8295.0000, 3516.7314
8708.0000, 3293.9758	8302.0000, 3568.0269
8715.0000, 3260.7725	8309.0000, 3589.3887
8722.0000, 3178.6299	9086.0000, 3614.5276
8729.0000, 3112.7236	9093.0000, 3606.3203
8736.0000, 3117.2200	9100.0000, 3599.1265
8743.0000, 3139.0996	9107.0000, 3591.5210
8750.0000, 3152.5361	9114.0000, 3585.6042
8757.0000, 3121.8638	9121.0000, 3575.0728
8764.0000, 3046.2300	9128.0000, 3563.7175
8771.0000, 2997.1714	9135.0000, 3549.8337
8778.0000, 2904.7424	9142.0000, 3535.0688
8785.0000, 2813.1467	9149.0000, 3512.3625
8792.0000, 2833.7097	9156.0000, 3495.3960
8799.0000, 2917.6992	9163.0000, 3500.4604
8806.0000, 2917.8154	9170.0000, 3499.0430
8813.0000, 2830.9224	9177.0000, 3473.6982
8820.0000, 2693.5559	9184.0000, 3454.0266
8827.0000, 2560.8044	9191.0000, 3421.8794
8834.0000, 2502.9514	9198.0000, 3402.2871
8841.0000, 2550.8784	9205.0000, 3457.3530
8848.0000, 2621.1709	9212.0000, 3479.7881
8855.0000, 2587.7957	9219.0000, 3501.1680
8862.0000, 2445.6694	9226.0000, 3476.8870
8869.0000, 2266.8228	9233.0000, 3422.8481
8876.0000, 2150.7615	9240.0000, 3367.4824
8883.0000, 2209.2566	9247.0000, 3410.3923
8890.0000, 2331.5112	9254.0000, 3503.2266
8897.0000, 2386.7769	9261.0000, 3544.3979
8904.0000, 2287.9780	9268.0000, 3540.5364
8911.0000, 2086.4829	9275.0000, 3532.8379
8918.0000, 1949.7623	9282.0000, 3532.6533
8925.0000, 1962.2140	9289.0000, 3521.1584
8932.0000, 2062.9558	9296.0000, 3501.1567
8939.0000, 2117.6226	9303.0000, 3470.0928
8946.0000, 2036.1489	9310.0000, 3447.5122
8953.0000, 1839.3198	9317.0000, 3414.7048
8960.0000, 1729.2493	9324.0000, 3334.7339
8967.0000, 1778.6726	9331.0000, 3309.0291
8974.0000, 1879.3262	9338.0000, 3304.5347
8981.0000, 1875.1472	9345.0000, 3312.1956
8988.0000, 1732.0067	9352.0000, 3338.2925
8995.0000, 1565.4194	9359.0000, 3349.6001
9002.0000, 3132.7144	9366.0000, 3332.3301
9009.0000, 3231.5752	9373.0000, 3290.2476
9016.0000, 3316.9451	9380.0000, 3262.0967
9023.0000, 3439.8784	9387.0000, 3267.2793

9030.0000, 3579.2773	9751.0000, 2140.0876
9037.0000, 3608.1875	9758.0000, 2080.4944
9044.0000, 3623.7417	9765.0000, 2013.4910
9051.0000, 3630.6687	9772.0000, 2021.3346
9058.0000, 3628.8696	9779.0000, 1998.4614
9065.0000, 3625.1033	9786.0000, 1945.6024
9072.0000, 3623.6084	9793.0000, 1920.2308
9079.0000, 3617.2859	9800.0000, 1912.7679
9450.0000, 3261.8047	9807.0000, 1895.4011
9457.0000, 3277.0269	9814.0000, 1865.1864
9464.0000, 3207.5117	9821.0000, 1808.5969
9471.0000, 3120.9685	9828.0000, 1770.9265
9478.0000, 3061.7295	9863.0000, 1711.7375
9485.0000, 3006.3250	9870.0000, 1713.7723
9492.0000, 2870.1465	9871.0000, 1715.7625
9499.0000, 2801.1267	9873.0000, 2801.1267
9506.0000, 2763.9897	9875.0000, 2763.9897
9504.0000, 2742.0810	9877.0000, 1683.6631
9541.0000, 2711.6938	
9548.0000, 2711.5837	
9555.0000, 2714.4253	
9562.0000, 2724.2334	
9569.0000, 2683.5078	
9576.0000, 2653.4065	
9583.0000, 2790.3359	
9590.0000, 2841.4431	
9597.0000, 2705.3770	
9604.0000, 2615.5215	
9611.0000, 2580.7107	
9618.0000, 2517.1787	
9625.0000, 2452.9453	
9632.0000, 2433.7249	
9639.0000, 2399.2905	
9646.0000, 2379.3438	
9653.0000, 2348.8174	
9660.0000, 2306.9160	
9667.0000, 2283.3223	
9674.0000, 2285.7280	
9681.0000, 2280.0120	
9688.0000, 2231.4814	
9695.0000, 2202.9702	
9702.0000, 2211.3496	
9709.0000, 2169.0371	
9716.0000, 2156.9546	
9723.0000, 2163.5105	
9730.0000, 2154.4485	
9737.0000, 2144.0786	
9744.0000, 2158.0850	

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 57,400 cm untuk N=2

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
8841.0000	3614.2791	9170.0000	2974.3311
8848.0000	3608.5862	9177.0000	2966.7539
8855.0000	3604.4390	9184.0000	2894.5806
8862.0000	3600.1846	9191.0000	2809.4324
8869.0000	3593.1973	9198.0000	2761.4585
8876.0000	3586.3718	9205.0000	2743.4692
8883.0000	3579.9009	9212.0000	2651.5688
8890.0000	3574.7339	9219.0000	2494.8594
8897.0000	3563.8235	9226.0000	2413.5332
8904.0000	3555.0723	9233.0000	2393.6035
8911.0000	3544.7954	9240.0000	2364.5894
8918.0000	3537.9683	9247.0000	2347.6084
8925.0000	3530.5117	9254.0000	2362.7275
8932.0000	3520.5603	9261.0000	2327.8313
8939.0000	3505.2449	9268.0000	2284.6379
8946.0000	3485.7427	9275.0000	2284.7473
8953.0000	3467.8682	9282.0000	2289.4282
8960.0000	3464.0220	9289.0000	2260.8755
8967.0000	3463.1526	9296.0000	2204.8745
8974.0000	3468.4980	9303.0000	2104.9326
8981.0000	3447.0293	9310.0000	2021.6934
8988.0000	3425.4109	9317.0000	1925.7827
8995.0000	3406.8389	9324.0000	1893.6027
9002.0000	3407.7166	9331.0000	1884.6609
9009.0000	3396.2229	9338.0000	1838.3354
9016.0000	3378.2480	9345.0000	1788.5931
9023.0000	3363.2551	9352.0000	1760.4565
9030.0000	3373.1543	9359.0000	1732.6963
9037.0000	3366.2378	9366.0000	1706.3296
9044.0000	3337.8772	9373.0000	1658.9799
9051.0000	3309.7466	9380.0000	1627.4065
9058.0000	3290.8901	9387.0000	1580.5200
9065.0000	3302.6809	9394.0000	1556.1223
9072.0000	3304.0903	9401.0000	1506.1978
9079.0000	3295.3550	9408.0000	1459.7334
9086.0000	3287.5903	9415.0000	1424.1348
9093.0000	3279.7358	9422.0000	1404.4473
9100.0000	3250.6809	9429.0000	1380.3806
9107.0000	3225.5227	9436.0000	1370.3353
9114.0000	3204.1255	9443.0000	1358.3540
9121.0000	3228.4890	9450.0000	1323.8207
9128.0000	3211.8955	9457.0000	1293.2366
9135.0000	3174.1084	9464.0000	1273.6335
9142.0000	3099.0366	9471.0000	1230.0134
9149.0000	3053.5627	9478.0000	1204.3320
9156.0000	3027.8752	9485.0000	1163.5592
9163.0000	3003.5317	9492.0000	1151.5591
9165.0000	3005.0282	9499.0000	1165.0282
9506.0000	1180.9587	9870.0000	2425.7129
9513.0000	1177.8728	9877.0000	2420.6299

9520.0000, 1176.6121	9884.0000, 2476.2781
9527.0000, 1177.9047	9891.0000, 2529.9070
9534.0000, 1182.5015	9898.0000, 2554.7227
9541.0000, 1155.2805	9905.0000, 2580.6204
9548.0000, 1124.4810	9912.0000, 2647.2729
9555.0000, 1094.7826	9919.0000, 2706.1304
9562.0000, 1093.3832	9926.0000, 2738.7097
9569.0000, 1072.3143	9933.0000, 2766.1948
9576.0000, 1071.0171	9940.0000, 2780.3289
9583.0000, 1086.0945	9947.0000, 2778.9858
9590.0000, 1112.3696	9954.0000, 2809.2012
9597.0000, 1130.7412	9961.0000, 2849.5486
9604.0000, 1162.2363	9968.0000, 2860.8853
9611.0000, 1195.6404	9975.0000, 2919.2954
9618.0000, 1214.6783	9982.0000, 2972.8103
9625.0000, 1186.1416	9989.0000, 2989.7639
9632.0000, 1172.9121	9996.0000, 2995.8237
9639.0000, 1180.8352	10003.0000, 3027.1406
9646.0000, 1192.5654	10010.0000, 3059.3323
9653.0000, 1213.4019	10017.0000, 3059.6230
9660.0000, 1260.3545	10024.0000, 3052.5308
9667.0000, 1297.1099	10031.0000, 3072.8972
9674.0000, 1349.7292	10038.0000, 3097.9360
9681.0000, 1401.3293	10045.0000, 3093.8115
9688.0000, 1462.1537	10052.0000, 3119.0063
9695.0000, 1500.9146	10059.0000, 3140.8628
9702.0000, 1517.6301	10066.0000, 3126.6760
9709.0000, 1507.3108	10073.0000, 3122.5640
9716.0000, 1522.3004	10080.0000, 3138.8994
9723.0000, 1530.3622	10087.0000, 3164.6855
9730.0000, 1545.4717	10094.0000, 3154.5015
9737.0000, 1572.4203	10101.0000, 3157.6960
9744.0000, 1610.5100	10108.0000, 3188.4553
9751.0000, 1660.7461	10115.0000, 3196.9587
9758.0000, 1724.3080	10122.0000, 3196.4031
9765.0000, 1765.3484	10129.0000, 3205.2476
9772.0000, 1813.1912	10136.0000, 3193.0950
9779.0000, 1856.7012	10143.0000, 3194.5173
9786.0000, 1902.6910	10150.0000, 3193.0085
9793.0000, 1932.7804	10157.0000, 3202.9482
9800.0000, 1943.5200	10164.0000, 3206.2988
9807.0000, 1959.2634	10171.0000, 3204.4893
9814.0000, 2008.2539	10178.0000, 3205.3086
9821.0000, 2076.6812	10185.0000, 3219.5220
9828.0000, 2144.8665	10192.0000, 3203.2783
9835.0000, 2215.8225	10199.0000, 3211.8652
9842.0000, 2288.1748	10206.0000, 3214.3604
9849.0000, 2352.4229	10213.0000, 3218.0034
9856.0000, 2382.3809	10255.0000, 2808.8823
9857.0000, 2383.3708	10262.0000, 2851.8604
10234.0000, 3218.9482	10269.0000, 2878.4143
10241.0000, 3227.6133	10276.0000, 2907.1455
10241.0000, 2704.5808	10283.0000, 2962.2964
10248.0000, 2755.8237	10290.0000, 2979.9341

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 57,266 cm untuk N= 3

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
8547.0000	2251.2910	8862.0000	1570.3557
8554.0000	2201.3010	8869.0000	1546.9293
8561.0000	2153.3003	8876.0000	1566.3698
8568.0000	2095.8242	8883.0000	1657.8700
8575.0000	2068.7693	8890.0000	1746.8450
8582.0000	2041.6157	8897.0000	1840.6145
8589.0000	2003.1724	8904.0000	1913.4606
8596.0000	1950.0940	8911.0000	1906.7754
8603.0000	1904.3833	8918.0000	1930.6449
8610.0000	1860.5668	8925.0000	1929.9260
8617.0000	1815.4248	8932.0000	1887.8848
8624.0000	1804.9148	8939.0000	1922.8425
8631.0000	1789.6106	8946.0000	1912.9355
8638.0000	1764.8885	8953.0000	1924.0438
8645.0000	1734.2939	8960.0000	1938.2344
8652.0000	1711.4717	8967.0000	1984.2817
8659.0000	1716.5952	8974.0000	2211.3076
8666.0000	1700.7493	8981.0000	2515.5132
8673.0000	1636.2144	8988.0000	2752.0745
8680.0000	1569.1527	8995.0000	2945.7236
8687.0000	1538.5270	9002.0000	3132.7144
8694.0000	1524.9935	9009.0000	3231.5752
8701.0000	1501.5131	9016.0000	3316.9451
8708.0000	1470.9656	9023.0000	3439.8784
8715.0000	1442.1980	9030.0000	3579.2773
8722.0000	1438.8595	9037.0000	3608.1875
8729.0000	1419.6542	9044.0000	3623.7417
8736.0000	1380.8191	9051.0000	3630.6687
8743.0000	1374.9600	9058.0000	3628.8696
8750.0000	1383.0970	9065.0000	3625.1033
8757.0000	1435.8303	9072.0000	3623.6084
8764.0000	1479.0400	9079.0000	3617.2859
8771.0000	1458.5219	9086.0000	3614.5276
8778.0000	1461.0448	9093.0000	3606.3203
8785.0000	1537.6522	9100.0000	3599.1265
8792.0000	1596.9041	9107.0000	3591.5210
8799.0000	1596.9851	9114.0000	3585.6042
8806.0000	1593.0823	9121.0000	3575.0728
8813.0000	1722.6208	9128.0000	3563.7175
8820.0000	1883.3342	9135.0000	3549.8337
8827.0000	1936.9646	9142.0000	3535.0688
8834.0000	1902.0770	9149.0000	3512.3625
8841.0000	1800.9197	9156.0000	3495.3960
8848.0000	1691.8385	9163.0000	3500.4604
9170.0000	3499.0430	9534.0000	2742.0610

9177.0000, 3473.6982	9541.0000, 2711.6938
9184.0000, 3454.0266	9548.0000, 2711.5837
9191.0000, 3421.8794	9555.0000, 2714.4253
9198.0000, 3402.2871	9562.0000, 2724.2334
9205.0000, 3457.3530	9569.0000, 2683.5078
9212.0000, 3479.7881	9576.0000, 2653.4065
9219.0000, 3501.1680	9583.0000, 2790.3359
9226.0000, 3476.8870	9590.0000, 2841.4431
9233.0000, 3422.8481	9597.0000, 2705.3770
9240.0000, 3367.4824	9604.0000, 2615.5215
9247.0000, 3410.3923	9611.0000, 2580.7107
9254.0000, 3503.2266	9618.0000, 2517.1787
9261.0000, 3544.3979	9625.0000, 2452.9453
9268.0000, 3510.5364	9632.0000, 2433.7249
9275.0000, 3532.8379	9639.0000, 2399.2905
9282.0000, 3532.6533	9646.0000, 2379.3438
9289.0000, 3521.1584	9653.0000, 2348.8174
9296.0000, 3501.1567	9660.0000, 2306.9160
9303.0000, 3470.0928	9667.0000, 2283.3223
9310.0000, 3447.5122	9674.0000, 2285.7280
9317.0000, 3414.7048	9681.0000, 2280.0120
9324.0000, 3334.7339	9688.0000, 2231.4814
9331.0000, 3309.0291	9695.0000, 2202.9702
9338.0000, 3304.5347	9702.0000, 2211.3496
9345.0000, 3312.1956	9709.0000, 2169.0371
9352.0000, 3338.2925	9716.0000, 2156.9546
9359.0000, 3349.6001	9723.0000, 2163.5105
9366.0000, 3332.3301	9730.0000, 2154.4485
9373.0000, 3290.2476	9737.0000, 2144.0786
9380.0000, 3262.0967	9744.0000, 2158.0850
9387.0000, 3267.2793	9751.0000, 2140.0876
9394.0000, 3219.7925	9758.0000, 2080.4944
9401.0000, 3206.6277	9765.0000, 2013.4910
9408.0000, 3226.7212	9772.0000, 2021.3346
9415.0000, 3229.0239	9779.0000, 1998.4614
9422.0000, 3143.7786	9786.0000, 1945.6024
9429.0000, 3147.7717	9793.0000, 1920.2308
9436.0000, 3213.0354	9800.0000, 1912.7679
9443.0000, 3239.3535	9807.0000, 1895.4011
9450.0000, 3261.8047	9814.0000, 1865.1864
9457.0000, 3277.0269	9821.0000, 1808.5969
9464.0000, 3207.5117	9828.0000, 1770.9265
9471.0000, 3120.9885	9835.0000, 1749.4077
9478.0000, 3061.7295	9842.0000, 1738.7786
9485.0000, 3006.3250	9849.0000, 1736.2961
9492.0000, 2870.1465	9856.0000, 1738.1332
9499.0000, 2801.1267	9863.0000, 1711.7375
9506.0000, 2763.9897	9870.0000, 1713.7723
9877.0000, 1683.6631	9891.0000, 1663.7029
9884.0000, 1666.4253	9898.0000, 1666.4387

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 56,166 cm untuk N=4

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
9345.0000	1293.8428	9681.0000	1040.8466
9352.0000	1284.3667	9688.0000	1036.3218
9359.0000	1272.6210	9695.0000	1023.9609
9366.0000	1269.7590	9702.0000	1021.3514
9373.0000	1266.0100	9709.0000	996.0604
9380.0000	1270.5730	9716.0000	983.0243
9387.0000	1256.7209	9723.0000	983.0081
9394.0000	1248.2771	9730.0000	976.5638
9401.0000	1232.7142	9737.0000	958.9762
9408.0000	1219.2271	9744.0000	939.7633
9415.0000	1210.2625	9751.0000	924.9310
9422.0000	1214.4978	9758.0000	921.5038
9429.0000	1201.9673	9765.0000	916.0646
9436.0000	1184.5710	9772.0000	899.0795
9443.0000	1165.8356	9779.0000	885.6561
9450.0000	1167.0640	9786.0000	891.2129
9457.0000	1170.8965	9793.0000	881.7183
9464.0000	1160.7522	9800.0000	870.1053
9471.0000	1137.2007	9807.0000	870.6030
9478.0000	1147.8389	9814.0000	873.7416
9485.0000	1144.1678	9821.0000	867.1514
9492.0000	1137.3748	9828.0000	865.5652
9499.0000	1135.6458	9835.0000	867.7599
9506.0000	1143.6156	9842.0000	875.7794
9513.0000	1140.7273	9849.0000	880.5392
9520.0000	1136.0530	9856.0000	896.4784
9527.0000	1118.8254	9863.0000	906.5891
9534.0000	1123.6709	9870.0000	913.9413
9541.0000	1110.2983	9877.0000	917.4323
9548.0000	1098.9397	9884.0000	927.4586
9555.0000	1107.1799	9891.0000	950.5329
9562.0000	1120.0090	9898.0000	979.6783
9569.0000	1107.8323	9905.0000	996.2319
9576.0000	1112.3573	9912.0000	1020.4589
9583.0000	1116.2711	9919.0000	1037.7747
9590.0000	1122.3839	9926.0000	1067.0815
9597.0000	1118.8608	9933.0000	1100.4628
9604.0000	1114.7339	9940.0000	1124.1444
9611.0000	1115.6072	9947.0000	1143.3469
9618.0000	1108.4626	9954.0000	1185.2675
9625.0000	1097.4025	9961.0000	1216.8547
9632.0000	1085.6472	9968.0000	1249.5220
9639.0000	1077.9340	9975.0000	1275.1589
9646.0000	1079.4365	9982.0000	1312.6901
9653.0000	1076.9065	9989.0000	1345.4950
9660.0000	1079.8772	9996.0000	1369.9635
9667.0000	1062.1458	10003.0000	1406.3737
9674.0000	1046.7080	10010.0000	1440.5818
10017.0000	1476.0165	10381.0000	3225.5439

10024.0000, 1530.6533	10388.0000, 3225.9006
10031.0000, 1564.0674	10395.0000, 3233.8533
10038.0000, 1580.9705	10402.0000, 3237.3110
10045.0000, 1621.3975	10409.0000, 3246.8491
10052.0000, 1660.8947	10416.0000, 3259.5000
10059.0000, 1687.7366	10423.0000, 3264.6245
10066.0000, 1718.2319	10430.0000, 3275.2356
10073.0000, 1756.0613	10437.0000, 3277.8157
10080.0000, 1793.9843	10444.0000, 3271.8442
10087.0000, 1821.9386	10451.0000, 3273.7383
10094.0000, 1858.4731	10458.0000, 3280.9453
10101.0000, 1908.9224	10465.0000, 3285.2502
10108.0000, 1947.3184	10472.0000, 3285.3643
10115.0000, 1965.8906	10479.0000, 3278.0569
10122.0000, 2008.7595	10486.0000, 3260.7163
10129.0000, 2047.8801	10493.0000, 3245.8918
10136.0000, 2071.1880	10500.0000, 3260.6370
10143.0000, 2105.8440	10507.0000, 3285.9263
10150.0000, 2149.1123	10514.0000, 3270.6516
10157.0000, 2212.6873	10521.0000, 3234.0862
10164.0000, 2255.4944	10528.0000, 3228.0410
10171.0000, 2271.5461	10535.0000, 3237.3555
10178.0000, 2298.5308	10542.0000, 3238.7300
10185.0000, 2327.0852	10549.0000, 3235.5144
10192.0000, 2372.9062	10556.0000, 3204.2258
10199.0000, 2430.8960	10563.0000, 3199.5767
10206.0000, 2482.3489	10570.0000, 3209.2578
10213.0000, 2519.8740	10577.0000, 3211.0356
10220.0000, 2559.7039	10584.0000, 3234.9434
10227.0000, 2612.4441	10591.0000, 3282.5088
10234.0000, 2666.3608	10598.0000, 3309.1113
10241.0000, 2704.5808	10605.0000, 3255.5127
10248.0000, 2755.8237	10612.0000, 3167.6218
10255.0000, 2808.8823	10619.0000, 3101.1223
10262.0000, 2851.8604	10626.0000, 3054.8247
10269.0000, 2878.4143	10633.0000, 3021.0012
10276.0000, 2907.1455	10640.0000, 2996.8582
10283.0000, 2962.2964	10647.0000, 2993.3496
10290.0000, 2979.9341	10654.0000, 3007.0413
10297.0000, 2999.2891	10661.0000, 3020.9780
10304.0000, 3048.7383	10668.0000, 2992.3125
10311.0000, 3094.0020	10675.0000, 2977.1472
10318.0000, 3111.4570	10682.0000, 2988.9534
10325.0000, 3113.1504	10689.0000, 2970.5374
10332.0000, 3127.9226	10696.0000, 2908.4563
10339.0000, 3152.1323	10703.0000, 2835.3992
10346.0000, 3167.8416	10710.0000, 2820.5962
10353.0000, 3190.6987	10717.0000, 2736.1382
10360.0000, 3210.1021	10724.0000, 2601.8481
10367.0000, 3213.8340	10731.0000, 2500.5234
10374.0000, 3223.1023	10738.0000, 2404.7937

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 56,666 cm untuk N= 1

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
9604.0000	3402.0000	9590.0000	3382.0000
9611.0000	3430.0000	9597.0000	3419.0000
9618.0000	3412.0000	9639.0000	3482.0000
9625.0000	3448.0000	9646.0000	3462.0000
9632.0000	3438.0000	9653.0000	3497.0000
9317.0000	2089.0000	9660.0000	3491.0000
9324.0000	2019.0000	9667.0000	3538.0000
9331.0000	2243.0000	9674.0000	3516.0000
9338.0000	2146.0000	9681.0000	3576.0000
9345.0000	2375.0000	9688.0000	3553.0000
9352.0000	2323.0000	9695.0000	3606.0000
9359.0000	2483.0000	9702.0000	3589.0000
9366.0000	2415.0000	9709.0000	3639.0000
9373.0000	2584.0000	9716.0000	3621.0000
9380.0000	2592.0000	9723.0000	3656.0000
9387.0000	2836.0000	9730.0000	3650.0000
9394.0000	2748.0000	9737.0000	3674.0000
9401.0000	2932.0000	9744.0000	3667.0000
9408.0000	2886.0000	9751.0000	3688.0000
9415.0000	3102.0000	9758.0000	3681.0000
9422.0000	3007.0000	9765.0000	3694.0000
9429.0000	3139.0000	9772.0000	3691.0000
9436.0000	3123.0000	9779.0000	3699.0000
9443.0000	3199.0000	9786.0000	3696.0000
9450.0000	3168.0000	9793.0000	3700.0000
9457.0000	3232.0000	9800.0000	3700.0000
9464.0000	3228.0000	9807.0000	3703.0000
9471.0000	3255.0000	9814.0000	3700.0000
9478.0000	3265.0000	9821.0000	3702.0000
9485.0000	3303.0000	9828.0000	3702.0000
9492.0000	3280.0000	9835.0000	3705.0000
9499.0000	3313.0000	9842.0000	3702.0000
9506.0000	3313.0000	9849.0000	3702.0000
9513.0000	3327.0000	9856.0000	3702.0000
9520.0000	3317.0000	9863.0000	3702.0000
9527.0000	3344.0000	9870.0000	3701.0000
9534.0000	3336.0000	9877.0000	3700.0000
9541.0000	3358.0000	9884.0000	3699.0000
9548.0000	3348.0000	9891.0000	3701.0000
9555.0000	3370.0000	9898.0000	3699.0000
9562.0000	3352.0000	9905.0000	3694.0000
9569.0000	3391.0000	9912.0000	3697.0000
9576.0000	3380.0000	9919.0000	3696.0000
9583.0000	3405.0000	9926.0000	3693.0000
9933.0000	3694.0000	10269.0000	3612.0000

10199.0000	3642.0000	10220.0000	3600.0000
10206.0000	3640.0000	10535.0000	3318.0000
10515.0000	3331.0000	10540.0000	3300.0000

10640.0000, 2929.0000
10647.0000, 2705.0000
10654.0000, 2792.0000
10661.0000, 2605.0000
10668.0000, 2616.0000
10675.0000, 2467.0000
10682.0000, 2584.0000
10689.0000, 2368.0000
10696.0000, 2385.0000
10703.0000, 2259.0000
10710.0000, 2295.0000
10717.0000, 2206.0000
10724.0000, 2274.0000

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 57,633 cm untuk N=2

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
7889.0000, 2859.7449		8197.0000, 1460.6691	
7896.0000, 2789.8901		8204.0000, 1452.2366	
7903.0000, 2762.3977		8211.0000, 1425.2766	
7910.0000, 2715.0239		8218.0000, 1401.1442	
7917.0000, 2654.1960		8225.0000, 1380.7942	
7924.0000, 2615.3718		8232.0000, 1355.8290	
7931.0000, 2574.7854		8239.0000, 1331.9807	
7938.0000, 2564.7148		8246.0000, 1332.2191	
7945.0000, 2531.5308		8253.0000, 1312.2562	
7952.0000, 2482.5256		8260.0000, 1287.6150	
7959.0000, 2436.5056		8267.0000, 1270.9093	
7966.0000, 2394.9531		8274.0000, 1254.1821	
7973.0000, 2368.0801		8281.0000, 1222.5469	
7980.0000, 2359.8379		8288.0000, 1202.0076	
7987.0000, 2309.3481		8295.0000, 1182.5756	
7994.0000, 2250.2197		8302.0000, 1177.5938	
8001.0000, 2232.1548		8309.0000, 1155.1479	
8008.0000, 2205.6177		8316.0000, 1125.0959	
8015.0000, 2171.2322		8323.0000, 1102.9260	
8022.0000, 2138.6040		8330.0000, 1097.5485	
8029.0000, 2094.9038		8337.0000, 1084.5604	
8036.0000, 2060.0840		8344.0000, 1074.7999	
8043.0000, 2016.5383		8351.0000, 1053.7516	
8050.0000, 1992.8954		8358.0000, 1042.6542	
8057.0000, 1965.4274		8365.0000, 1025.2015	
8064.0000, 1929.8127		8372.0000, 1012.9095	
8071.0000, 1907.9476		8379.0000, 1006.1733	
8078.0000, 1899.0338		8386.0000, 990.1966	

8085.0000, 1859.3730	8393.0000, 958.7180
8092.0000, 1840.5935	8400.0000, 949.4246
8099.0000, 1801.6069	8407.0000, 940.3740
8106.0000, 1754.2518	8414.0000, 923.7047
8113.0000, 1740.1250	8421.0000, 901.3466
8120.0000, 1721.2177	8428.0000, 894.9465
8127.0000, 1700.4158	8435.0000, 882.9790
8134.0000, 1679.7363	8442.0000, 877.0016
8141.0000, 1644.6670	8449.0000, 860.6909
8148.0000, 1610.7061	8456.0000, 847.7476
8155.0000, 1581.7009	8463.0000, 835.1586
8162.0000, 1570.0886	8470.0000, 827.1112
8169.0000, 1557.4839	8477.0000, 809.3232
8176.0000, 1541.9835	8484.0000, 799.3808
8183.0000, 1506.4310	8491.0000, 794.0478
8190.0000, 1477.2793	8498.0000, 782.0236
8505.0000, 769.1018	8505.0000, 817.5009
8512.0000, 758.4872	8876.0000, 817.1989
8519.0000, 751.2098	8883.0000, 821.6567
8526.0000, 748.4347	8890.0000, 827.3667
8533.0000, 737.9923	8897.0000, 828.8585
8540.0000, 730.3766	8904.0000, 827.1003
8547.0000, 722.1384	8911.0000, 823.3289
8554.0000, 720.5521	8918.0000, 831.8260
8561.0000, 711.4560	8925.0000, 836.3398
8568.0000, 703.5382	8932.0000, 852.1227
8575.0000, 699.4473	8939.0000, 862.7798
8582.0000, 700.0399	8946.0000, 861.1283
8589.0000, 689.5268	8953.0000, 863.1777
8596.0000, 689.5317	8960.0000, 860.6706
8603.0000, 683.8177	8967.0000, 859.6838
8610.0000, 676.4659	8974.0000, 866.4388
8617.0000, 674.7146	8981.0000, 865.6057
8624.0000, 678.4722	8988.0000, 875.5048
8631.0000, 677.5230	8995.0000, 900.6844
8638.0000, 682.2827	9002.0000, 918.0558
8645.0000, 681.6775	9009.0000, 932.0516
8652.0000, 683.3060	9016.0000, 972.8964
8659.0000, 689.5662	9023.0000, 1021.5827
8666.0000, 696.1103	9030.0000, 1084.2087
8673.0000, 695.9393	9037.0000, 1139.6265
8680.0000, 697.4397	9044.0000, 1145.5637
8687.0000, 698.4843	9051.0000, 1173.3911
8694.0000, 705.5093	9058.0000, 1246.3257
8701.0000, 709.8582	9065.0000, 1333.1726
8708.0000, 709.8319	9072.0000, 1398.4885
8715.0000, 715.9886	9079.0000, 1403.3141

8722.0000, 722.2933	9086.0000, 1374.6182
8729.0000, 715.5112	9093.0000, 1297.9388
8736.0000, 722.9069	9100.0000, 1286.5670
8743.0000, 734.0869	9107.0000, 1352.0500
8750.0000, 734.5598	9114.0000, 1410.2451
8757.0000, 737.0775	9121.0000, 1538.4514
8764.0000, 745.6798	9128.0000, 1543.2290
8771.0000, 751.2355	9135.0000, 1393.6562
8778.0000, 758.4790	9142.0000, 1398.0326
8785.0000, 754.6271	9149.0000, 1453.1667
8792.0000, 754.5390	9156.0000, 1502.9622
8799.0000, 762.8956	9163.0000, 1628.6546
8806.0000, 777.0047	9170.0000, 1679.4580
8813.0000, 777.5485	9177.0000, 1515.2026
8820.0000, 776.5759	9184.0000, 1421.0103
8827.0000, 783.5027	9191.0000, 1454.8025
8834.0000, 789.7808	9198.0000, 1398.6093
8841.0000, 792.7048	9205.0000, 1298.6465
8848.0000, 800.5475	9212.0000, 1238.1470
8855.0000, 799.1266	9219.0000, 1225.9297
8862.0000, 806.4915	9226.0000, 1193.3923
9233.0000, 1211.1910	
9240.0000, 1248.3186	
9247.0000, 1315.2173	
9254.0000, 1411.9626	
9261.0000, 1438.9792	
9268.0000, 1408.6318	
9275.0000, 1390.0798	
9282.0000, 1407.6179	
9289.0000, 1365.4983	
9296.0000, 1255.9044	

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 57,733 cm untuk N= 3

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
7413.0000	2039.0000	7721.0000	3375.0000
7420.0000	2032.0000	7728.0000	3354.0000
7427.0000	2066.0000	7735.0000	3388.0000
7434.0000	2059.0000	7742.0000	3378.0000
7441.0000	2099.0000	7749.0000	3409.0000
7448.0000	2076.0000	7756.0000	3388.0000
7455.0000	2122.0000	7763.0000	3450.0000
7462.0000	2094.0000	7770.0000	3418.0000
7469.0000	2198.0000	7777.0000	3535.0000
7476.0000	2155.0000	7784.0000	3483.0000
7483.0000	2238.0000	7791.0000	3643.0000
7490.0000	2232.0000	7798.0000	3589.0000
7497.0000	2303.0000	7805.0000	3702.0000
7504.0000	2255.0000	7812.0000	3678.0000
7511.0000	2410.0000	7819.0000	3732.0000
7518.0000	2364.0000	7826.0000	3722.0000
7525.0000	2531.0000	7833.0000	3740.0000
7532.0000	2459.0000	7840.0000	3739.0000
7539.0000	2591.0000	7847.0000	3741.0000
7546.0000	2565.0000	7854.0000	3740.0000
7553.0000	2684.0000	7861.0000	3739.0000
7560.0000	2634.0000	7868.0000	3738.0000
7567.0000	2782.0000	7875.0000	3737.0000
7574.0000	2710.0000	7882.0000	3738.0000
7581.0000	2888.0000	7889.0000	3735.0000
7588.0000	2839.0000	7896.0000	3737.0000
7595.0000	2992.0000	7903.0000	3738.0000
7602.0000	2943.0000	7910.0000	3735.0000
7609.0000	3084.0000	7917.0000	3733.0000
7616.0000	3041.0000	7924.0000	3735.0000
7623.0000	3179.0000	7931.0000	3731.0000
7630.0000	3126.0000	7938.0000	3732.0000
7637.0000	3204.0000	7945.0000	3726.0000
7644.0000	3200.0000	7952.0000	3732.0000
7651.0000	3248.0000	7959.0000	3729.0000
7658.0000	3238.0000	7966.0000	3728.0000
7665.0000	3290.0000	7973.0000	3726.0000
7672.0000	3278.0000	7980.0000	3728.0000
7679.0000	3306.0000	7987.0000	3727.0000
7686.0000	3309.0000	7994.0000	3724.0000
7693.0000	3328.0000	8001.0000	3724.0000
7700.0000	3317.0000	8008.0000	3720.0000
7707.0000	3350.0000	8015.0000	3726.0000
7714.0000	3337.0000	8022.0000	3721.0000
8029.0000	3721.0000	8365.0000	3652.0000

8036.0000, 3722.0000	8372.0000, 3654.0000
8043.0000, 3720.0000	8379.0000, 3645.0000
8050.0000, 3719.0000	8386.0000, 3649.0000
8057.0000, 3716.0000	8393.0000, 3641.0000
8064.0000, 3718.0000	8400.0000, 3643.0000
8071.0000, 3716.0000	8407.0000, 3637.0000
8078.0000, 3716.0000	8414.0000, 3638.0000
8085.0000, 3711.0000	8421.0000, 3629.0000
8092.0000, 3713.0000	8428.0000, 3633.0000
8099.0000, 3711.0000	8435.0000, 3621.0000
8106.0000, 3711.0000	8442.0000, 3625.0000
8113.0000, 3709.0000	8449.0000, 3613.0000
8120.0000, 3710.0000	8456.0000, 3619.0000
8127.0000, 3708.0000	8463.0000, 3606.0000
8134.0000, 3708.0000	8470.0000, 3610.0000
8141.0000, 3703.0000	8477.0000, 3595.0000
8148.0000, 3704.0000	8484.0000, 3600.0000
8155.0000, 3701.0000	8491.0000, 3583.0000
8162.0000, 3702.0000	8498.0000, 3507.0000
8169.0000, 3699.0000	8505.0000, 3566.0000
8176.0000, 3701.0000	8512.0000, 3576.0000
8183.0000, 3697.0000	8519.0000, 3553.0000
8190.0000, 3695.0000	8526.0000, 3558.0000
8197.0000, 3693.0000	8533.0000, 3532.0000
8204.0000, 3593.0000	8540.0000, 3542.0000
8211.0000, 3691.0000	8547.0000, 3513.0000
8218.0000, 3692.0000	8554.0000, 3521.0000
8225.0000, 3689.0000	8561.0000, 3489.0000
8232.0000, 3686.0000	8568.0000, 3504.0000
8239.0000, 3688.0000	8575.0000, 3469.0000
8246.0000, 3687.0000	8582.0000, 3479.0000
8253.0000, 3683.0000	8589.0000, 3440.0000
8260.0000, 3684.0000	8596.0000, 3455.0000
8267.0000, 3680.0000	8603.0000, 3421.0000
8274.0000, 3682.0000	8610.0000, 3428.0000
8281.0000, 3677.0000	8617.0000, 3391.0000
8288.0000, 3679.0000	8624.0000, 3404.0000
8295.0000, 3674.0000	8631.0000, 3374.0000
8302.0000, 3674.0000	8638.0000, 3377.0000
8309.0000, 3670.0000	8645.0000, 3351.0000
8316.0000, 3671.0000	8652.0000, 3359.0000
8323.0000, 3665.0000	8659.0000, 3325.0000
8330.0000, 3668.0000	8666.0000, 3338.0000
8337.0000, 3661.0000	8673.0000, 3311.0000
8344.0000, 3663.0000	8680.0000, 3318.0000
8351.0000, 3659.0000	8687.0000, 3282.0000
8358.0000, 3659.0000	8694.0000, 3297.0000
8701.0000, 3249.0000	8722.0000, 3224.0000
8708.0000, 3266.0000	8729.0000, 3140.0000
8715.0000, 3212.0000	8736.0000, 3187.0000

8743.0000, 3092.0000
8750.0000, 3123.0000
8757.0000, 2985.0000
8764.0000, 3038.0000
8771.0000, 2901.0000
8778.0000, 2928.0000
8785.0000, 2789.0000
8792.0000, 2857.0000
8799.0000, 2674.0000
8806.0000, 2720.0000
8813.0000, 2595.0000
8820.0000, 2636.0000
8806.0000, 2720.0000
8813.0000, 2595.0000
8820.0000, 2636.0000

Tabel data hasil penelitian dengan menggunakan laser GaAlAs pada jarak 56,333 cm untuk N=4

Jarak	Intensitas	Jarak	Intensitas
9324.0000, 3257.0000		9632.0000, 1494.0000	
9331.0000, 3237.0000		9639.0000, 1409.0000	
9338.0000, 3243.0000		9646.0000, 1408.0000	
9345.0000, 3215.0000		9653.0000, 1402.0000	
9352.0000, 3217.0000		9660.0000, 1415.0000	
9359.0000, 3184.0000		9667.0000, 1363.0000	
9366.0000, 3197.0000		9674.0000, 1384.0000	
9373.0000, 3124.0000		9681.0000, 1341.0000	
9380.0000, 3137.0000		9688.0000, 1334.0000	
9387.0000, 3110.0000		9695.0000, 1364.0000	
9394.0000, 3129.0000		9702.0000, 1372.0000	
9401.0000, 3007.0000		9709.0000, 1310.0000	
9408.0000, 3053.0000		9716.0000, 1312.0000	
9415.0000, 2909.0000		9723.0000, 1273.0000	
9422.0000, 2962.0000		9730.0000, 1277.0000	
9429.0000, 2791.0000		9737.0000, 1265.0000	
9436.0000, 2845.0000		9744.0000, 1290.0000	
9443.0000, 2609.0000		9751.0000, 1247.0000	
9450.0000, 2737.0000		9758.0000, 1241.0000	
9457.0000, 2520.0000		9765.0000, 1225.0000	
9464.0000, 2534.0000		9772.0000, 1237.0000	
9471.0000, 2382.0000		9779.0000, 1187.0000	
9478.0000, 2479.0000		9786.0000, 1194.0000	
9485.0000, 2309.0000		9793.0000, 1146.0000	
9492.0000, 2321.0000		9800.0000, 1175.0000	
9499.0000, 2148.0000		9807.0000, 1069.0000	
9506.0000, 2231.0000		9814.0000, 1091.0000	
9513.0000, 2041.0000		9821.0000, 1052.0000	
9520.0000, 2096.0000		9828.0000, 1058.0000	

9527.0000, 1941.0000	9835.0000, 991.0000
9534.0000, 1977.0000	9842.0000, 1027.0000
9541.0000, 1865.0000	9849.0000, 932.0000
9548.0000, 1925.0000	9856.0000, 947.0000
9555.0000, 1779.0000	9863.0000, 874.0000
9562.0000, 1815.0000	9870.0000, 903.0000
9569.0000, 1668.0000	9877.0000, 818.0000
9576.0000, 1720.0000	9884.0000, 827.0000
9583.0000, 1609.0000	9891.0000, 745.0000
9590.0000, 1614.0000	9898.0000, 789.0000
9597.0000, 1522.0000	9905.0000, 685.0000
9604.0000, 1575.0000	9912.0000, 698.0000
9611.0000, 1500.0000	9919.0000, 639.0000
9618.0000, 1488.0000	9926.0000, 665.0000
9625.0000, 1448.0000	9933.0000, 578.0000
9940.0000, 604.0000	10276.0000, 560.0000
9947.0000, 524.0000	10283.0000, 558.0000
9954.0000, 549.0000	10290.0000, 560.0000
9961.0000, 506.0000	10297.0000, 564.0000
9968.0000, 519.0000	10304.0000, 555.0000
9975.0000, 465.0000	10311.0000, 573.0000
9982.0000, 477.0000	10318.0000, 568.0000
9989.0000, 432.0000	10325.0000, 545.0000
9996.0000, 441.0000	10332.0000, 553.0000
10003.0000, 418.0000	10339.0000, 571.0000
10010.0000, 424.0000	10346.0000, 551.0000
10017.0000, 402.0000	10353.0000, 584.0000
10024.0000, 411.0000	10360.0000, 581.0000
10031.0000, 384.0000	10367.0000, 614.0000
10038.0000, 377.0000	10374.0000, 593.0000
10045.0000, 378.0000	10381.0000, 627.0000
10052.0000, 384.0000	10388.0000, 620.0000
10059.0000, 383.0000	10395.0000, 678.0000
10066.0000, 374.0000	10402.0000, 637.0000
10073.0000, 380.0000	10409.0000, 688.0000
10080.0000, 378.0000	10416.0000, 689.0000
10087.0000, 403.0000	10423.0000, 744.0000
10094.0000, 388.0000	10430.0000, 706.0000
10101.0000, 404.0000	10437.0000, 804.0000
10108.0000, 400.0000	10444.0000, 769.0000
10115.0000, 423.0000	10451.0000, 874.0000
10122.0000, 407.0000	10458.0000, 829.0000
10129.0000, 446.0000	10465.0000, 960.0000
10136.0000, 440.0000	10472.0000, 916.0000
10143.0000, 452.0000	10479.0000, 1084.0000
10150.0000, 443.0000	10486.0000, 1029.0000
10157.0000, 464.0000	10493.0000, 1186.0000
10164.0000, 458.0000	10500.0000, 1120.0000
10171.0000, 491.0000	10507.0000, 1337.0000
10178.0000, 475.0000	10514.0000, 1261.0000

10185.0000, 516.0000	10521.0000, 1482.0000
10192.0000, 500.0000	10528.0000, 1395.0000
10199.0000, 513.0000	10535.0000, 1669.0000
10206.0000, 508.0000	10542.0000, 1578.0000
10213.0000, 528.0000	10549.0000, 1862.0000
10220.0000, 520.0000	10556.0000, 1751.0000
10227.0000, 533.0000	10563.0000, 2096.0000
10234.0000, 531.0000	10570.0000, 1989.0000
10241.0000, 544.0000	10577.0000, 2295.0000
10248.0000, 537.0000	10584.0000, 2199.0000
10255.0000, 556.0000	10591.0000, 2570.0000
10262.0000, 548.0000	10598.0000, 2432.0000
10269.0000, 562.0000	10605.0000, 2824.0000
10612.0000, 2673.0000	
10619.0000, 2984.0000	
10626.0000, 2910.0000	
10633.0000, 3175.0000	
10640.0000, 3090.0000	
10647.0000, 3223.0000	
10654.0000, 3212.0000	
10661.0000, 3284.0000	
10668.0000, 3263.0000	
10675.0000, 3319.0000	
10682.0000, 3300.0000	
10689.0000, 3345.0000	
10696.0000, 3338.0000	
10703.0000, 3364.0000	
10710.0000, 3346.0000	
10717.0000, 3389.0000	
10724.0000, 3370.0000	
10731.0000, 3413.0000	