

## **Dioda Laser Biru Dan Aplikasinya**

### ***Abstrak***

*Sejak ditemukannya sinar laser pada tahun 1960-an maka aplikasinya meluas ke semua bidang, bahkan merevolusi beberapa bidang teknologi. Salah satu bentuk laser yang banyak digunakan pada aplikasi elektronik adalah dioda laser. Salah satu karakteristik dioda laser yang menentukan aplikasinya adalah panjang gelombang-nya, saat ini dioda laser yang dapat dihasilkan dan dipakai secara luas adalah dioda laser infra-merah dan merah. Dioda laser infra-merah dengan panjang gelombang sekitar 780 nm digunakan diantaranya untuk aplikasi penyimpanan dan pembacaan data pada CD (Compact Disc), laser printer dan komunikasi serat optik mode tunggal. Dioda laser merah dengan panjang gelombang sekitar 640 nm digunakan pada untuk aplikasi penyimpanan dan pembacaan data pada DVD (Digital Versatile Disc). Saat ini penelitian sedang diarahkan untuk membuat dioda laser yang menghasilkan sinar biru, dengan panjang gelombang yang lebih kecil, sekitar 450 nm. Dioda laser biru pada aplikasinya dapat memberikan keuntungan dari dioda laser sebelumnya yaitu penyimpanan data yang lebih besar pada media CD/DVD, resolusi yang meningkat pada laser printer dan ukuran peralatan yang dihasilkan makin kecil serta penerapan lainnya pada bidang kedokteran, militer, lingkungan hidup, komunikasi serat optik dan sebagainya.*

*Kata Kunci : Sinar laser, dioda laser, panjang gelombang, dioda laser infra-merah, dioda laser merah, dioda laser biru.*

### **Pendahuluan**

Penelitian dioda laser biru dilakukan dengan intensif di banyak laboratorium di seluruh dunia. Panasonic mengembangkannya untuk merealisasikan DVD masa depan dengan kapasitas 50 GB. Toshiba telah memperkenalkan media 30 GB untuk itu. Sony juga ingin mengaplikasikan dioda laser biru untuk film cerita dalam format mini-CD. Xerox telah mempekerjakan para peneliti elit di Silicon Valley untuk pengembangan printer kompak dengan resolusi lebih tinggi. Pentagon sangat berminat pada senjata berteknologi laser biru, karena dapat membuat berpendar senjata kimia dan biologis yang semula tidak tampak.

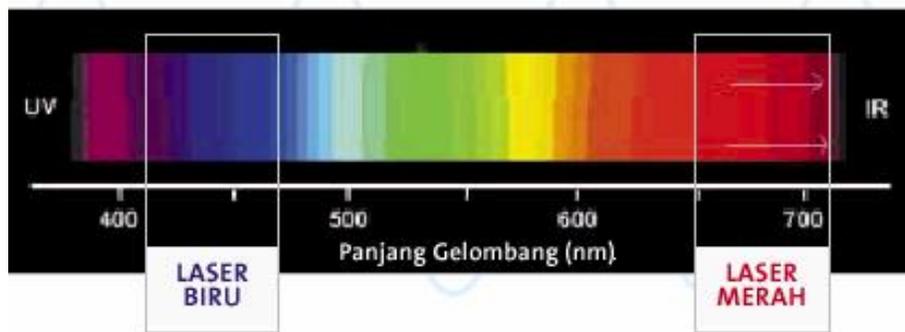
Analisis lingkungan dapat membuktikan adanya ozon dengan mudah. Dokter-dokter juga ingin mengenali sel-sel kanker lebih dini. Dioda laser biru pun diharapkan membuat terobosan bagi TV laser. Ia juga merupakan pilihan pertama, jika nanti plastik harus menggantikan serat kaca sebagai penghantar optik. Medianya saja, yang akan menggantikan CD dan DVD, menjanjikan pasar yang luar biasa besar. Di Eropa pun kapasitas penelitian difokuskan untuk teknologi ini.

### **Metodologi Penelitian**

Tulisan ini membahas mengenai teori dasar Laser, bahan bahan dan cara pembuatan Laser biru serta aplikasinya dengan menggunakan studi literatur terhadap buku-buku, majalah dan jurnal ilmiah.

## Panjang Gelombang Dan Efek Difraksi Cahaya

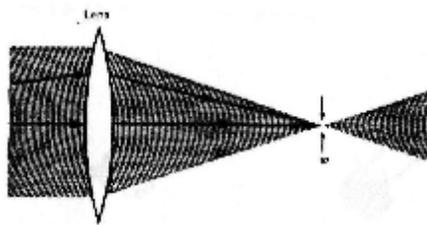
Warna laser berkaitan dengan panjang gelombang dari laser tersebut, dimana panjang gelombang ini menentukan karakteristik dan aplikasi dari laser. Panjang gelombang laser biru lebih pendek dibandingkan laser merah atau infra-merah yang kini banyak digunakan pada perangkat-perangkat elektronik. Bila infra-merah berada dalam kisaran 780-850 nm dan laser merah pada 650-670 nm, laser biru memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 410-460 nm, lihat Gambar (1).



Gambar (1)

Spektrum panjang gelombang sinar laser.

Panjang gelombang yang lebih pendek berarti memiliki kemampuan menangani struktur yang jauh lebih halus—misalnya membaca dan menulis data lebih rapat, hal ini berkaitan dengan efek difraksi ketika laser difokuskan oleh lensa, lihat Gambar (2) :



Gambar (2)

Lebar “spot”  $w$  pada fokus terbentuk akibat efek difraksi lensa.

Akibat difraksi maka pada titik fokus akan terbentuk “spot” yang menyebar sepanjang diameter sebesar beberapa panjang gelombang, lebar “spot”  $w$  bergantung pada panjang gelombang dan diameter lensa, rumusnya adalah :

$$w = 2.44 \frac{\lambda f}{d} \quad (1)$$

dimana  $l$  = Panjang gelombang laser;  $f$  = Panjang fokus lensa;  $d$  = Diameter lensa. Lebar spot  $w$  menentukan ukuran struktur minimum yang dapat ditangani oleh laser, sehingga makin kecil  $l$  maka  $w$  makin kecil yang berarti laser dapat menangani struktur yang lebih kecil. Pada *laser printer* ini berarti meningkatkan resolusi juga memperkecil ukuran *printer* tersebut, sedangkan pada aplikasi CD/DVD dapat meningkatkan kapasitas media penyimpanan hingga puluhan kali.

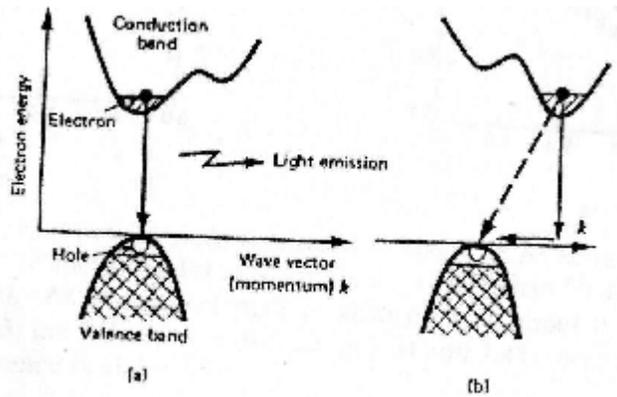
### **Teori Emisi Cahaya**

Dioda laser terbuat dari bahan semikonduktor. Semikonduktor adalah material dengan konduktivitas diantara konduktor dan isolator, susunan atom-atomnya membentuk struktur kristal. Akibat larangan Pauli<sup>1</sup> maka elektron-elektron dari atom-atom kristal semikonduktor pada tingkat energi yang hampir sama akan membentuk tingkat-tingkat energi yang sangat berdekatan yang disebut dengan pita energi. Pita energi yang berhubungan dengan pemancaran cahaya adalah pita energi valensi dan pita energi konduksi, jika elektron dari pita valensi karena mendapatkan energi maka tereksitasi ke pita konduksi maka tempat kosong yang ditinggalkan oleh elektron tersebut disebut *hole* yang dipandang bermuatan positif. Elektron pada pita konduksi tersebut dapat turun kembali ke pita valensi mengisi *hole*, peristiwa ini disebut rekombinasi, pada peristiwa rekombinasi akan dipancarkan cahaya bersesuaian dengan selisih kedua pita energi tersebut.

Kondisi untuk transisi tersebut adalah momentum dari elektron secara ideal harus konstan. Maka untuk gambar (3.b) elektron mengalami transisi secara langsung dan mudah dari level energi tinggi ke rendah dan cahaya secara mudah diradiasikan. Pada gambar (2.b) momentum juga harus berubah, transisi elektron menjadi sulit dan probabilitas dari cahaya yang diemisikan lebih kecil. Proses pada gambar (3.a) dan (3.b) disebut ***semi-konduktor transisi langsung dan transisi tidak langsung.***

---

<sup>1</sup> 2 Buah elektron tidak boleh berada pada state yang sama dalam waktu yang sama



Gambar (3)

Transisi langsung dan tidak langsung.

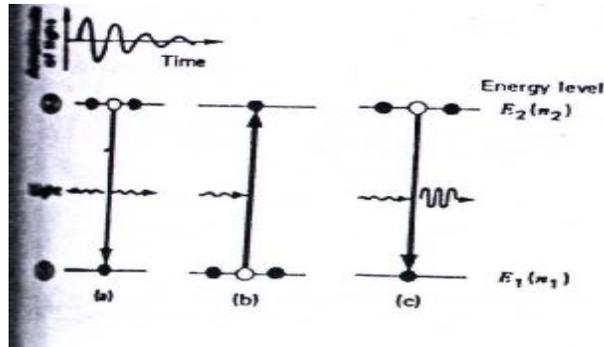
Panjang gelombang yang dipancarkan,  $\lambda$ , bergantung dengan gap energi antara pita konduksi dan pita valensi :

$$\lambda = \frac{hc}{E_g} \cong \frac{1.2398}{E_g (eV)} \text{ nm} \quad (2)$$

$c$  adalah kecepatan cahaya,  $h$  adalah tetapan Planck dan  $E_g$  adalah gap energi antara pita konduksi dan valensi yang merupakan karakteristik dari material semi-konduktor. Berbagai jenis material semi-konduktor tersedia sehingga panjang gelombang yang dihasilkan hampir memuat semua spektrum dari daerah tampak sampai dekat daerah infra-merah. Pada LED (*Light Emitting Diode*), cahaya langsung dipancarkan. Sedangkan pada dioda laser, lapisan tengah elemen semikonduktor dirancang sebagai zona aktif. Ujung-ujung zona aktif ini memantulkan dan memperkuat intensitas laser sebelum memancar keluar.

### Emisi Spontan, Absorpsi dan Emisi Terangsang

Secara skematik pada gambar (4), dijelaskan ada 3 cara sebuah atom, molekul atau semikonduktor dapat menyerap atau memancarkan cahaya sebagai hasil dari transisi antara 2 tingkat energi yang berbeda (antara level energi atau pita energi).



Gambar (4)

Tiga proses transisi dasar antara dua level energi

Cara pertama seperti pada gambar (4.a), dimana atom mula-mula berada pada level energi 2 yang lebih tinggi dan cahaya dengan frekuensi  $f_0$  di-emisikan secara spontan dan acak tanpa cahaya luar atau tanpa adanya mekanisme pemicuan. Proses ini disebut **emisi spontan**. Ketika sejumlah besar atom dan molekul berada pada level energi tinggi, fase dari gelombang yang diradiasikan dari atom-atom atau molekul-molekul yang berbeda tidak saling bergantung, dan total intensitas cahaya yang diradiasikan berkurang secara eksponensial terhadap waktu. Cahaya yang biasa kita lihat sehari-hari biasanya disebabkan oleh emisi spontan. Sebagai contoh, di dalam filamen sebuah lampu bohlam atom-atomnya dieksitasikan oleh energi termal.

Cara kedua dan ketiga adalah proses eksitasi terjadi ketika cahaya dengan frekuensi  $f_0$  atau mendekati  $f_0$  dipompakan ke dalam atom dari sumber luar, sekarang ada 2 kemungkinan, pertama, seperti pada gambar (1.b), sebuah atom di dalam level energi 1 dapat menyerap sebuah foton dari cahaya input dan mengalami eksitasi ke level energi 2, ini disebut **penyerapan resonan**. Kemungkinan ke-2 adalah sebuah atom mula-mula berada pada level energi 2, gambar (1.c), dapat diinduksikan untuk mengemisikan sebuah foton cahaya yang memiliki fase dan frekuensi yang sama dengan cahaya input, ini disebut **emisi yang distimulasi (terangsang)** dan merupakan dasar dari operasi **Laser**.

Secara matematis ketiga proses transisi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

Kecepatan emisi terangsang :  $B_{21}N_2r(h\nu_{12})$

Kecepatan emisi spontan :  $A_{21}N_2$

Kecepatan absorpsi :  $B_{12}N_1r(h\nu_{12}) - A_{21}n_2$

Dimana :  $N_1$  = Jumlah atom/molekul pada level energi 2 ;  $N_2$  = Jumlah atom./molekul pada level energi 1,  $\rho(h\nu_{12})$  = Total energi foton yang dipancarkan persatuan volume dan  $t = \frac{1}{A_{21}}$  = waktu hidup rata-rata untuk emisi spontan pada level energi 2. Pada kondisi

*steady state* : Kecepatan emisi terangsang + Kecepatan emisi spontan = Kecepatan absorpsi atau :

$$B_{21}N_2r(h\nu_{12}) + A_{21}N_2 = B_{12}N_1r(h\nu_{12}) \quad (3)$$

Dari persamaan (3) : Kecepatan emisi terangsang / Kecepatan emisi spontan =  $\frac{b_{21}}{A_{21}} r(h\nu_{12})$ ,

sehingga untuk meningkatkan emisi terangsang dibandingkan emisi spontan maka harus dimiliki foton dengan kerapatan energi yang tinggi ( $r(h\nu_{12})$ ). Untuk mendapatkan kerapatan energi foton yang tinggi ini maka digunakan rongga resonator optik untuk meningkatkan kerapatan foton. Dari persamaan (3) juga didapatkan : Kecepatan emisi

terangsang / Kecepatan absorpsi =  $\frac{b_{21}}{b_{12}} \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$ , sehingga agar emisi terangsang lebih

mendominasi daripada absorpsi, maka harus dimiliki lebih banyak atom/molekul/energi di level energi 2 daripada di level energi 1. Menurut distribusi Boltzmann perbandingan  $N_2$  dan  $N_1$  pada kestabilan thermal adalah :

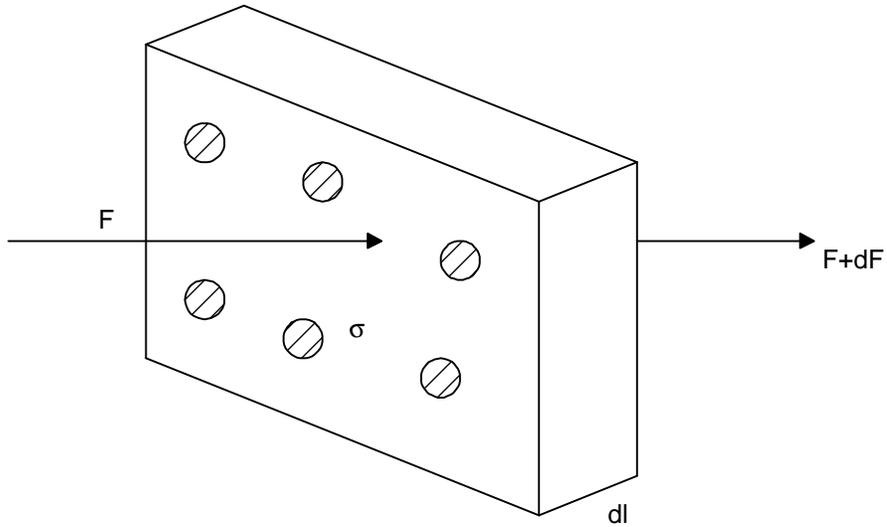
$$\frac{N_2}{N_1} = e^{\left( \frac{-(E_2-E_1)}{kT} \right)} \quad (4)$$

sehingga nilai  $n_2$  lebih kecil dari  $n_1$ , untuk membuat  $N_2 > N_1$  maka perlu usaha dari luar yang disebut dengan pemompaan sehingga terjadi invers populasi ( $N_2 > N_1$ ).

### Penguatan Optik

Pada gambar (5) material dengan luas A dan tebal d, dikenakan cahaya dengan fluks (jumlah foton per-satuan luas per-satuan waktu) F, jika  $N_1$  adalah *absorber* (daya serap material) persatuan volume dan  $\sigma$  luas area dari berkas cahaya yang mengenai material, maka secara matematis hubungan besaran- besaran diatas dapat dinyatakan :

$$dF = -N_1\sigma dF \quad (5)$$

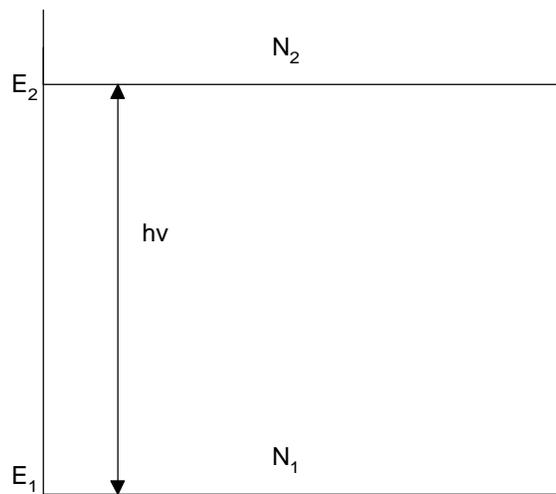


**Gambar (5)**  
**Penyerapan Cahaya**

Dengan mengintegrasikan pers (5) maka didapatkan :

$$F = F_0 e^{-N_1 s l} \quad (6)$$

$F_0$  = Fluks foton awal yang mengenai material, persamaan (6) dikenal dengan *Lambert's Law* yang menggambarkan intensitas cahaya yang diserap oleh suatu material. Untuk sistem mekanika kuantum, misalnya dua tingkat energi di bawah ini :



**Gambar (7)**  
**Proses mekanika kuantum untuk 2 level energi**

$E_1$  = energi level dasar,  $E_2$  = energi level eksitasi,  $N_1$  dan  $N_2$  = jumlah atom/molekul/ion pada level energi 1 dan level energi eksitasi. Atom/molekul/ion pada  $E_1$  dapat menyerap foton dengan energi  $h\nu$  ( $h\nu = E_2 - E_1$ ) dan naik ke level energi 2, sedangkan Atom/molekul/ion pada  $E_2$  dapat dieksitasi oleh foton dengan energi  $h\nu$  dan menghasilkan foton dengan energi dan fase yang sama dengan foton yang merangsangnya, peristiwa ini disebut emisi terangsang. Persamaan (6) dapat digunakan untuk menyatakan fluks foton yang dihasilkan oleh emisi terangsang dengan tanda positif pada eksponennya karena terjadi penguatan cahaya :

$$F = F_0 e^{N_2 s t} \quad (7)$$

sehingga secara keseluruhan (emisi terangsang + penyerapan) adalah :

$$F = F_0 e^{(N_2 - N_1) s t} \quad (8)$$

Cahaya akan dikuatkan jika  $N_2 > N_1$ , jika  $N_0$  adalah total atom/molekul/ion pada sistem :

$$N_0 = N_1 + N_2 \quad (9)$$

$N_0 \sigma = \alpha_0$  disebut *absorption coefficient*, maka persamaan (8) dapat dituliskan :

$$F = F_0 e^{(n_2 - n_1) \alpha_0 t} \quad (10)$$

$n_1 = \frac{N_1}{N_0}$  dan  $n_2 = \frac{N_2}{N_0}$  adalah populasi normalisasi,  $n_1 + n_2 = 1$ . Sehingga penguatan cahaya

yang terjadi adalah :

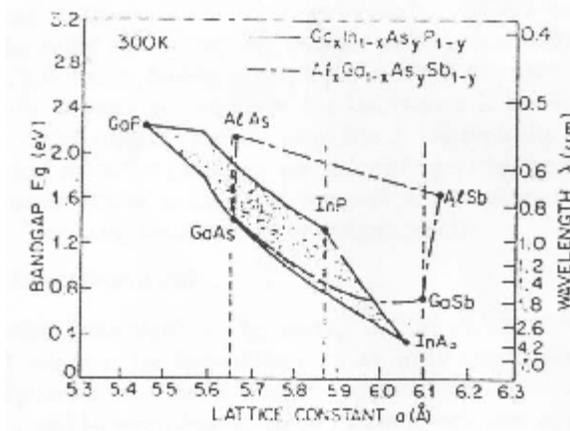
$$G = e^{\alpha_0 (n_2 - n_1) t} \quad (11)$$

Menurut persamaan (4) pada kondisi kestabilan thermal maka nilai  $n_1 - n_2$  adalah negatif sehingga agar terjadi penguatan maka perlu dilakukan pemompaan agar  $N_2 > N_1$  sehingga  $n_1 - n_2$  adalah positif.  $n_2 - n_1 =$  invers populasi normalisasi, penguatan cahaya akan terjadi jika  $n_2 - n_1 > 0$ .

### **Laser Semikonduktor**

Semua lasing semikonduktor memiliki *direct bandgaps*, hal ini diharapkan, karena momentum kristal kekal dan didapatkan probabilitas transisi radiasi yang besar di dalam semikonduktor *direct bandgaps*. Sampai saat ini panjang gelombang Laser semikonduktor yang dihasilkan mencakup daerah dari 0,3 sampai di atas 30  $\mu\text{m}$  (dari daerah ultra-violet sampai infra merah). Gallium Arsenida adalah material utama untuk menghasilkan radiasi

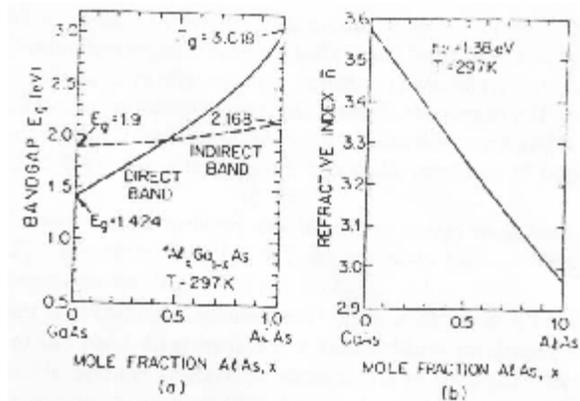
Laser, dan senyawa golongan III-V menjadi material Laser semikonduktor yang dipelajari dan dikembangkan dengan intensif. Gambar (8) menunjukkan grafik *bandgaps* terhadap konstanta kisi kristal untuk golongan III-V *binary semiconductors* dan senyawa *intermediate ternary* dan *quaternary*.



Gambar (8)

**Energy bandgap dan konstanta kisi kristal untuk sistem 2 senyawa golongan III-V**

Untuk mendapatkan struktur yang heterogen maka konstanta kisi dari dua semikonduktor harus dibuat cocok sedekat mungkin. Jika digunakan GaAs ( $a = 5,6533 \text{ \AA}^0$ ) sebagai substrat, senyawa *ternary*  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  dapat memiliki ketidakcocokan kisi hanya kurang dari 0,1 %. Demikian juga dengan InP ( $a = 5,8686 \text{ \AA}^0$ ) sebagai substrat, senyawa *quaternary*  $\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$  dapat memiliki kecocokan kisi yang hampir sempurna, diindikasikan oleh garis pusat vertikal pada gambar (8).



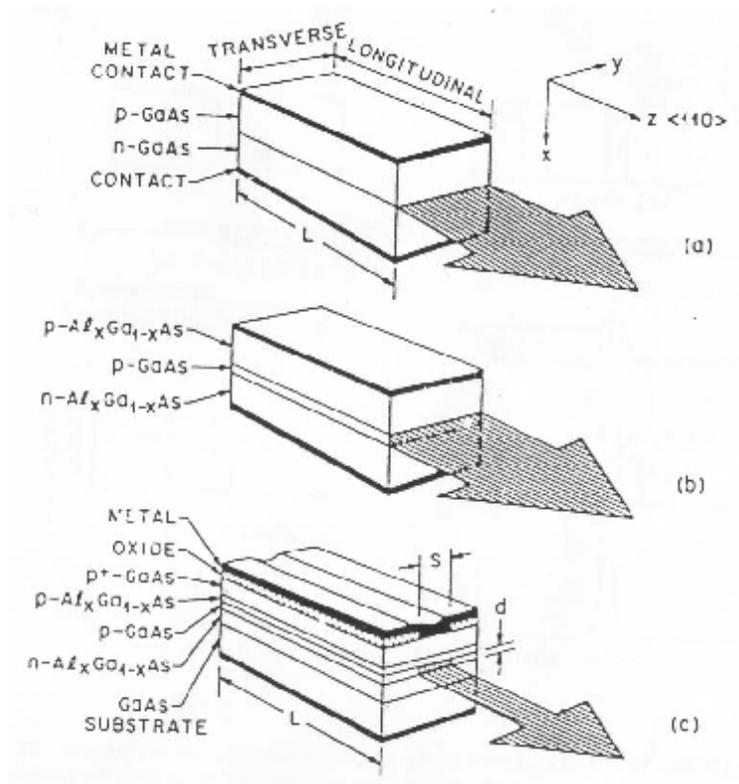
Gambar (9)

**Energi bandgap dan indeks bias fungsi dari komposisi aluminium, x**

Gambar (9.a) menunjukkan *ternary*  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  sebagai fungsi dari komposisi aluminium, senyawa memiliki *direct bandgap* sampai  $x = 0,45$  kemudian menjadi semikonduktor *indirect bandgap*. Gambar (9.b) menunjukkan ketergantungan indeks bias terhadap komposisi. Sebagai contoh untuk  $x = 0,3$ , *bandgap* dari  $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$  adalah 1,789 eV, dimana lebih besar 0,365 dari GaAs; indeks biasnya adalah 3,385, dimana lebih kecil 6 % daripada GaAs. Sifat ini penting untuk operasi kontinyu dari Laser semikonduktor pada dan di atas suhu ruangan.

### Struktur Laser Semikonduktor

Gambar (10) menunjukkan 3 struktur Laser



Gambar (10)

#### Struktur Laser semikonduktor di dalam konfigurasi rongga Fabry-Ferrot

Struktur pada gambar (10.a) adalah *basic p-n junction* laser, disebut *homojunction* laser sebab memiliki material semikonduktor yang sama (misalnya GaAs) pada kedua sisi persambungan. Pasangan bidang paralel dibelah tegak lurus terhadap sumbu <110>.

Dibawah kondisi bias yang tepat maka cahaya laser akan dipancarkan dari bidang ini. Struktur ini disebut rongga *Fabry-Perot* dengan panjang rongga biasanya sekitar 300  $\mu\text{m}$ .

Pada gambar (10.b) ditunjukkan laser *double-heterostructure* (DH), dimana lapisan tipis semikonduktor (misalnya GaAs) diapit antara dua lapisan semikonduktor yang berbeda (misalnya  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ). DH laser membutuhkan arus listrik yang lebih sedikit untuk beroperasi dibandingkan *homojunction* laser.

Struktur pada gambar (10.c) ditunjukkan DH laser yang memiliki sebuah *strip geometry*, lapisan oksida mengisolasi seluruh daerah di bawah kontak sehingga daerah lasing dibatasi pada daerah yang sempit di bawah kontak. Lebar *stripe* S biasanya sekitar 5 sampai 30  $\mu\text{m}$ . Keuntungan dari *strip geometry* adalah mengurangi arus operasi.

### Operasi Laser Semikonduktor

Invers populasi pada laser semikonduktor diperoleh dengan menginjeksikan arus listrik DC. *Threshold current density* ( $J_{\text{th}}$ ) adalah kerapatan arus minimum yang dibutuhkan agar terjadi lasing. Dengan bertambahnya suhu,  $J_{\text{th}}$  untuk DH laser bertambah lebih sedikit daripada *homojunction* laser. Karena nilai  $J_{\text{th}}$  yang rendah untuk DH laser pada suhu 300 K, DH laser dapat dioperasikan secara kontinyu pada suhu kamar.

Pada laser semikonduktor, penguatan  $g$ , adalah, penambahan flux energi optik per satuan panjang sebagai fungsi kerapatan arus nominal  $J_{\text{nom}}$ .  $J_{\text{nom}}$  didefinisikan untuk kuantum efisiensi bernilai 1 (jumlah pembawa yang dibangkitkan per-foton,  $\eta = 1$ ) sebagai kerapatan arus yang dibutuhkan untuk mengeksitasi lapisan aktif seragam setebal 1  $\mu\text{m}$ . Kerapatan arus yang sesungguhnya adalah :

$$J(\text{A/cm}^2) = \frac{J_{\text{nom}} d}{h} \quad (12)$$

dimana  $d$  adalah ketebalan lapisan aktif dengan satuan  $\mu\text{m}$ . Gambar (11) menunjukkan penguatan untuk Gallium Arsenida DH laser. Penguatan bertambah secara linier terhadap  $J_{\text{nom}}$  untuk  $50 \leq g \leq 400 \text{ cm}^{-1}$ . Kelinieran garis putus-putus pada gambar (11) dapat

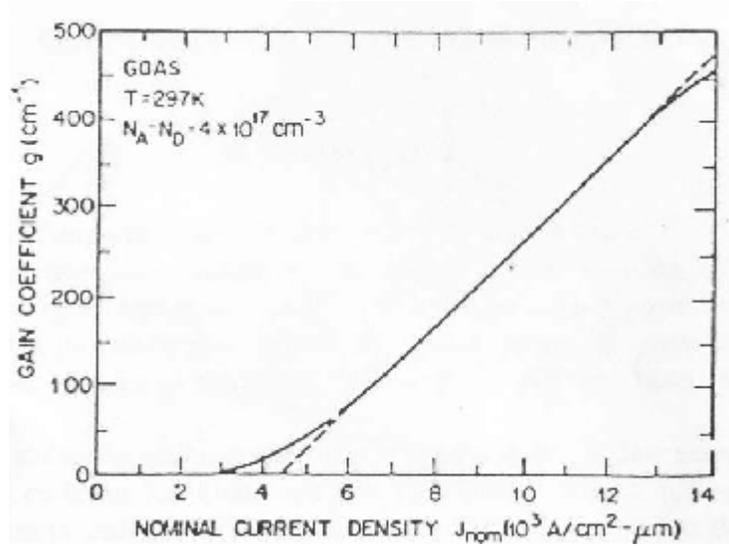
dituliskan :

$$g = \left( \frac{g_0}{J_0} \right) (J_{\text{nom}} - J_0) \quad (13)$$

dimana  $g_0/J_0 = 5 \times 10^{-2} \text{ cm} \cdot \mu\text{m}/\text{A}$  dan  $J_0 = 4,5 \times 10^3 \text{ A/cm}^2 \cdot \mu\text{m}$ . Pada arus rendah maka akan ada emisi spontan ke segala arah. Dengan bertambahnya arus, maka penguatan akan

bertambah (lihat gambar (11) sampai ambang batas untuk lasing dapat tercapai , sehingga gelombang cahaya akan tegak lurus terhadap rongga tanpa pelemahan :

$$R e^{((\Gamma g - \alpha)L)} = 1 \quad (14)$$



Gambar (11)

Variasi koefisien penguatan terhadap kerapatan arus nominal

Sehingga :

$$\Gamma g(\text{threshold gain}) = \alpha + \frac{1}{L} \ln\left(\frac{1}{R}\right) \quad (15)$$

Dimana  $\Gamma$  adalah faktor pembatas,  $\alpha$  adalah *loss* persatuan panjang akibat penyerapan dan mekanisme hamburan,  $L$  adalah panjang rongga dan  $R$  adalah reflektansi dari ujung-ujung rongga (diasumsikan  $R$  untuk kedua ujung rongga sama). Persamaan (12), (13), (14) dan (15) dapat dikombinasikan untuk *threshold current density* ( $J_{\text{th}}$ ) :

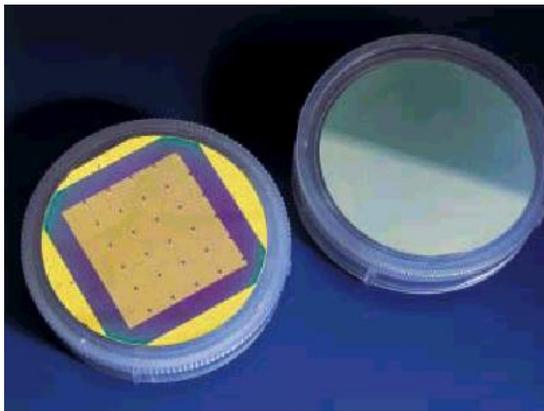
$$J_{\text{th}} = \frac{J_0 d}{h} + J_0 \frac{d}{g_0 h \Gamma} \left( \alpha + \frac{1}{L} \ln\left(\frac{1}{R}\right) \right) \quad (16)$$

Untuk mengurangi  $J_{\text{th}}$  maka nilai  $\eta$ ,  $\Gamma$  dan  $R$  harus diperbesar sedangkan  $d$  dan  $\alpha$  harus diperkecil.

## **Bahan dan Pembuatan Dioda Laser Biru**

Laser biru sangat sulit didapat, karena sistem semikonduktoryang tepat sulit ditemukan. Pembawa muatan dari berbagai lapisan harus cocok, agar energi yang dilepaskan memiliki panjang gelombang yang diinginkan. Banyak percobaan gagal dilakukan karena material memiliki struktur yang berbeda, sehingga tidak cocok satu sama lain. Berbagai kombinasi telah dicoba selama dua dasawarsa penelitian dan tidak dapat digunakan.

Kebanyakan peneliti menggunakan kombinasi Zn-Se (zinc-selenium) dan kombinasi semikonduktor serupa. Kombinasi tersebut tampaknya memberi harapan, tetapi dalam prakteknya sulit karena mudah hancur dan peka terhadap panas. Namun, dengan bahan ini, Sony berhasil menciptakan prototipe laser biru dan pada tahun 1995 telah mencapai 'usia' terlama 400 jam. Kerusakan dalam struktur kristal yang tak dapat diperbaiki menghalangi peningkatan usia laser. Saat ini, di perusahaan Nichia Chemical Jepang, sekelompok peneliti dikepalai fisikawan Shuji Nakamura bereksperimen dengan galium-nitrit yang sebenarnya pernah dinyatakan gagal hingga Nakamura pada tahun 1995 melihat kilatan cahaya biru pertama. Dengan itu penelitian laser biru benar-benar dimulai. Orang tidak hanya tahu bahwa hal itu bisa dilakukan, tetapi juga tahu bagaimana caranya—setidaknya secara prinsip.



**Gambar (12)**

**Wafel : Ribuan dioda laser terbentuk pada sekeping wafel berdiameter 2 inci.**

Meskipun demikian, Nichia tetap terdepan. Sony, Fujitsu, NEC, Toshiba, Pioneer, dan Matsushita di Jepang serta Xerox atau Cree di AS tidak dapat menyusulnya dengan biaya dan upaya penelitian yang besar sekali pun. Nichia telah mampu meningkatkan usia laser

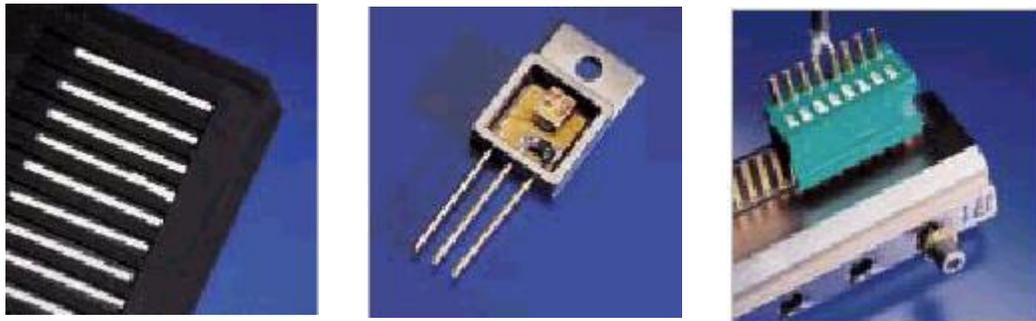
birunya hingga 10.000 jam, tetapi dengan itu hanya serangkaian komponen sangat mahal yang dapat diproduksi.

Di Eropa, para peneliti akan sangat senang jika telah mencapai sejauh itu, walaupun semua partisipan cukup puas dengan hasil yang telah dicapai sekarang ini. Pada tahun 1999, setahun setelah proyek bersama dimulai, laser biru telah berhasil memancar walaupun masih terputus-putus. Awal 2001, Dari sebuah wafel berukuran 2 inci dapat dibuat 10.000 dioda laser, lihat Gambar (12). Fraunhofer Institut di Freiburg dan Universitas Stuttgart menyumbang teknik pengolahan material yang menentukan.

Karena galium-nitrit tidak tersedia sebagai monokristalin berukuran besar, silicium-karbit (SiC) diguna-kan sebagai lapisan dasar. Di atasnya dibuat semikonduktor secara terarah lapis demi lapis. Methodanya semakin diperanggih, hingga mencapai fase gas logam-organik yang kini umum digunakan. Karena struktur kristal silicium-karbit dan galium-nitrit tidak sepenuhnya cocok satu sama lain, terjadi kesalahan struktur dan pergeseran yang menghancurkan hasilnya. Wafel di atas substrat silicium-karbit dibuat dalam proses dengan banyak tahap. Cahaya biru dihasilkan dalam lapisan tipis galium-indium-nitrit (GaInN). Untuk waktu yang lama, mewujudkan material penghantar positif dalam sistem ini tampaknya masih merupakan masalah. Akhirnya, proses berhasil dilakukan dengan penambahan atom magnesium sebagai pembawa muatan bebas. Namun, untuk itu dibutuhkan magnesium dalam jumlah besar agar dapat mem-pengaruhi karakter material lainnya.

Bila wafel dengan semua lapisannya selesai dibuat, tidak berarti semua masalah teratasi. Karena silicium-karbit merupakan material kedua terkeras setelah intan, sulit untuk memotongnya dalam ukuran dioda. Dari wafel yang bulat dipotong-potong berbentuk balok yang masing-masing membentuk sederet chip dioda, lihat gambar (13.a, b dan c). Dalam fase ini sudah dapat diuji, apakah dioda dapat memancarkan cahaya ketika diberi tegangan atau tidak. Awalnya dibutuhkan tegangan 40 volt untuk mengeluarkan sinar laser. Sekarang dengan daya di bawah 1 watt sudah cukup. Panas yang dihasilkan merupakan masalah terbesar yang belum teratasi, apalagi komponen akan lebih cepat rusak akibat panas.

**Gambar (13)**



(a)

**Blok-blok: Pertama, wafel dipotong-potong berbentuk balok dengan sederet dioda di atasnya.**

(b)

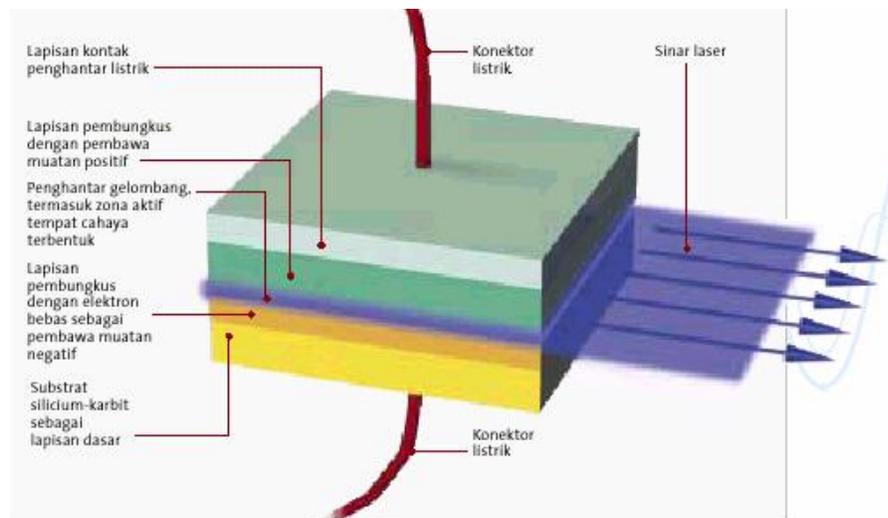
**Casing : Chip dilengkapi konektor. Konektor logam ini sekaligus membuang keluar panas yang dihasilkan.**

(c)

**Komponen : Melalui konektor, intensitas untuk berbagai aplikasi dapat diatur.**

Baru tahun lalu di Regensburg laser biru berhasil difungsikan pada suhu ruangan- sebelumnya dibutuhkan banyak pendinginan. Di Osram, secara diam-diam tentunya para peneliti berharap memperoleh teknik yang siap produksi pada akhir masa proyek tiga tahun tersebut.

### **Cara Kerja Dioda Laser Biru**



**Gambar (14)**

**Lapisan-lapisan pada dioda laser.**

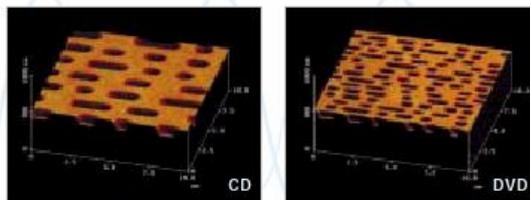
Karena material yang tidak terlalu cocok harus dikombinasikan untuk menghasilkan laser biru, pembuatan wafel untuk laser biru jauh lebih rumit dibandingkan untuk laser lainnya. (lihat Gambar (14)) Prinsipnya: Pembawa muatan positif (*hole*) dari lapisan penghantar *p* dan pembawa muatan negatif (*elektron*) dari lapisan penghantar *n* harus digabungkan menjadi atom netral ketika diberi tegangan listrik. Akibat pemberian tegangan ini, energi berbentuk foton akan dilepaskan dalam zona aktif dan dipancarkan sebagai cahaya. Lapisan pembungkus dengan pembawa muatan positif Penghantar gelombang, termasuk zona aktif tempat cahaya terbentuk Lapisan pembungkus dengan elektron bebas sebagai pembawa muatan negatif Substrat silicium-karbit sebagai lapisan dasar Konektor listrik.

### **Aplikasi Dioda Laser Biru**

Aplikasi laser biru akan sangat bervariasi. Dr. Norbert Stath, Direktur Innovations Management di Osram Semiconductors sudah berbicara tentang sebuah era baru: “Abad yang lalu adalah abad elektron. Abad ini akan menjadi abad foton.” Berikut ini akan ditinjau beberapa aplikasi dari laser biru yang memberikan peningkatan *performance* dari aplikasi sebelumnya :

- **CD/DVD**

Baik CD maupun DVD menggunakan sinar laser sebagai alat menulis dan membacanya, sinar laser digunakan karena kecerahannya yang tinggi (hal ini disebabkan diameter sinar dan sudut penyebaran yang kecil serta koherensi yang tinggi) sehingga memiliki intensitas yang besar, sifat ini digunakan untuk menulis/membakar CD/DVD, sedangkan sifat sinarnya yang terarah (hal ini disebabkan karena emisi terangsang pada laser berarah sama seperti cahaya pemicu dan penguatan resonator hanya pada satu arah) digunakan untuk pembacaan CD/DVD.



**Gambar (15)**

**Data ('pits') pada media CD dan DVD , diperbesar di bawah mikroskop.**

Pada pembacaan CD digunakan laser infra-merah sedangkan pada DVD digunakan laser-merah, berdasarkan persamaan (1) maka media DVD memiliki kapasitas data yang lebih besar dari CD, sekitar 7 sampai 25 kali. Lihat Gambar (15), pada sebuah CD, laser infra-merah dapat membaca 650 MB data dan laser merah membaca DVD 4,5 GB.

Laser biru karena panjang gelombangnya lebih kecil dari laser merah maka akan dapat menangani media yang ditulisi lebih rapat lagi. Panasonic mengemukakan keinginannya menggunakan laser biru untuk disk optik 2 lapis dengan kapasitas 50 GB— lebih dari 10 kali DVD masa kini. Kecepatan transfer 3x lipat juga disebut-sebut. Di Palo Alto Research Center (PARC) Xerox, penelitian dioda laser sudah menjadi tradisi.

Pada dasarnya CD dan DVD player memiliki prinsip kerja yang sama, umumnya setiap DVD player mampu membaca juga media CD, hal sebaliknya tidak.



**Gambar (16)**  
**Skematik cara kerja DVD/CD Player.**

DVD/CD *player* memiliki fungsi untuk mencari dan membaca data yang tersimpan berupa ‘*bumps*’ (‘benjolan’, hasil penulisan/pembakaran pada sisi media DVD/CD yang dibaca), ukurannya sangat kecil, sekitar 400 nm x 320 nm x 120 nm pada media DVD sedangkan pada media CD sekitar 0,83 μm x 0,5 μm x 125 nm. Driver pada *player* ini terdiri dari 3 bagian utama :

- **Sebuah motor driver** untuk memutar disk, motor ini dikontrol dengan presisi untuk berputar sekiitar 200 sampai 500 rpm (*rotation (2p radian)*)

*per menit*), bergantung pada trak mana yang sedang dibaca. Laser membaca disk dari dalam keluar, dimana kecepatan liniernya dibuat konstan, hubungan kecepatan rotasi dan kecepatan linier :

$$v = R\omega \quad (17)$$

$v$  = kecepatan linier (meter/detik);  $R$  = jari-jari;  $\omega$  = kecepatan rotasi (radian/detik) sehingga karena jari-jari ketika pembacaan keluar semakin besar maka kecepatan rotasi-nya harus turun agar kecepatan liniernya konstan.

- **Sebuah laser dan sistem lensa** untuk memfokuskan laser pada '*bumps*' dan membacanya – cahaya dari laser DVD *player* memiliki panjang gelombang 640 nm (dalam daerah merah), lebih kecil dari laser pada *CD player* (sebesar 780 nm, dalam daerah infra-merah), sehingga membuat DVD laser mampu difokuskan pada '*pits*' (lubang, pada DVD '*pits*' ini adalah pada sisi alumunium, pada sisi dimana laser membaca adalah '*bumps*') yang lebih kecil, jika digunakan laser biru (sekitar 450 nm) maka diperoleh pemfokusan pada '*pits*' yang lebih kecil lagi, sehingga data pada media dapat disimpan dengan lebih rapat lagi yang berarti kapasitas penyimpanan data bertambah, hal ini berkaitan dengan efek difraksi lensa seperti yang diberikan pada persamaan (1).
- **Mekanisme tracking** yang dapat menggerakkan laser sehingga berkas laser dapat mengikuti trak spiral, sistem tracking harus memungkinkan untuk menggerakkan laser pada resolusi mikron.

Interface ADC dan DAC diperlukan untuk berhubungan ke peralatan luar, misalnya speaker, karena data dari CD adalah digital maka perlu di rubah ke analog sebelum di terima oleh speaker.

#### - **Printer**

Sejak lama Xerox mengembangkan laser kompak untuk printer. Laser biru akan mencetak titik setengah kali lebih kecil dibandingkan yang dibuat oleh printer laser infra-merah. "Dengan mengganti teknologi laser, resolusi standar 600 dpi (*dot per*

*inch*) dapat dengan mudah ditingkatkan menjadi 1.200 dpi,” demikian menurut Ross Bringans, Direktur Lab untuk Material Elektronik di PARC.

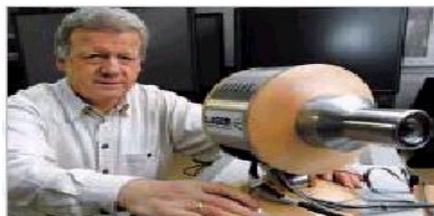


**Gambar (17)**  
**Printer on monochip.**

Itu hanya salah satu tujuan penelitian di Xerox. Setelah mampu mendemonstrasikan laser biru, laser akan diintegrasikan ke dalam sebuah proyek baru: Printer dengan laser dan sistem optik pada monochip (lihat Gambar (17)). Rencananya bahkan lebih jauh lagi. Sekitar 1.000 laser terpisah dapat diaplikasikan sekaligus pada sebuah printer laser *hi-end* generasi mendatang. Sistem tersebut dengan cermin mikronya tidak akan lebih besar dari ujung jari. Tentu saja laser biru juga akan memungkinkan produksi massal printer laser yang lebih kecil dan kuat, hingga membentuk perangkat ultra-portable.

- **TV Laser**

TV laser, yang prototipe pertamanya telah ditampilkan hampir 10 tahun lalu. Namun, karena perangkatnya besar dan mahal, TV laser hanya dapat digunakan untuk penerapan khusus. Dioda laser yang memiliki kinerja lebih tinggi untuk ‘mengangkut’ semua warna dasar, suatu hari akan hadir sebagai perangkat laser di rumah-rumah. Mungkin sebagai pesawat TV atau proyektor video.



**Gambar (18)**

**TV Laser, Laser semikonduktor akan mampu membuat terobosan bagi TV laser, dan membuat penembak laser tahun 90-an menjadi terlalu besar.**

## Kesimpulan

1. Panjang gelombang yang dihasilkan oleh dioda laser menentukan karakteristik dan aplikasi dari dioda laser tersebut. Panjang gelombang yang dihasilkan ditentukan oleh karakteristik tingkat energi bahan semikonduktor yang membentuk dioda laser tersebut.
2. Efek difraksi pada pemfokusan sinar laser oleh lensa membentuk lebar 'spot' yang ditentukan oleh hubungan  $w = 1.22 \frac{\lambda}{d}$ , makin kecil panjang gelombang maka makin kecil  $w$  yang berarti makin kecil pula ukuran struktur minimum yang dapat ditangani oleh laser.
3. Dioda laser biru memiliki panjang gelombang yang lebih kecil dari dioda laser infra-merah dan merah, sehingga penggunaan dioda laser biru dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan data pada CD/DVD, meningkatkan resolusi printer dan memperkecil ukurannya.
4. Penelitian diarahkan untuk mencari bahan yang dapat membuat dioda laser dengan konsumsi tegangan/daya dan disipasi panas yang rendah, stabil dan umur hidup yang lama.

## Daftar Pusaka

Iga, Kenichi: Process Technology for Semiconductor Lasers, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

<http://en.wikipedia.org/wiki/LASER>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/optmod/lascon.html>

<http://www.howstuffworks.com>

<http://www.repairfaq.org/sam/laseredy.htm>

Majalah Komputer “CHIP” Bulan Juni 2002

Suematsu, Yasuharu, “Introduction to Optic Fiber Communications”, OHM Inc., 1976

Young , Matt: *Optics and Lasers*, Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984