

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sumber Cahaya

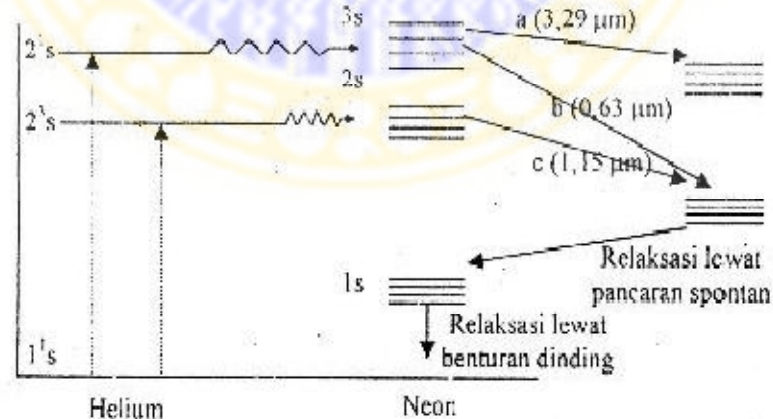
Dalam sistem sensor pergeseran mikro, sumber cahaya berfungsi sebagai sumber radiasi elektromagnetik yang akan dikenakan pada sampel. Sumber cahaya yang digunakan harus memiliki karakteristik tertentu, karena harus sesuai dengan panjang gelombang serapan sampel. Pada penelitian ini digunakan sumber cahaya laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) He-Ne dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) 633 nm.

Laser memiliki keunggulan dibandingkan cahaya yang dipancarkan dari sumber cahaya lain, antara lain laser bersifat monokromatis, kesejajaran tinggi, kecerahan tinggi dan koheren. Laser banyak digunakan dalam bidang spektroskopi, industri, kesehatan, hiburan, komunikasi, pertahanan, dan sebagai sumber cahaya dalam pengujian ilmiah pada skala laboratorium. Diantara jenis laser yang banyak digunakan adalah laser He-Ne.

Laser He-Ne memiliki beberapa keunggulan, antara lain: biaya operasi yang rendah, ukuran yang kecil, usia penggunaannya panjang (sekitar 50.000 jam operasi), berkas sinar yang kecil dan sangat terarah, monokromatik, koheren, dan kecerahannya tinggi. Laser He-Ne digunakan sebagai sumber cahaya tampak dalam

skala laboratorium maupun pada pengujian kelurusan sistem dan digunakan dengan panjang gelombang tertentu (Sasmitaninghidayah, W. 2011)

Laser He-Ne diciptakan pertama kali pada tahun 1961 oleh Ali Javan. Laser tersebut merupakan jenis laser gas yang terdiri dari campuran gas Helium dan Neon dengan perbandingan 7:1 yang ditempatkan pada sebuah tabung dengan tekanan 1 torr. Komponen utama laser He-Ne selain zat aktif adalah cermin-cermin resonator dan pemompa energi. Resonator terdiri dari 2 buah cermin. Cermin pertama memiliki koefisien reflektivitas sampai 99,9% dan cermin kedua yang disebut dengan cermin keluaran adalah cermin penerus sebagian. Seperti halnya laser gas lainnya, untuk menghasilkan populasi elektron yang cukup memadai, dilakukan pemompaan elektron ke dalam zat aktif. Mekanisme pembalikan populasi pada zat aktif dapat diamati pada diagram tingkat energi atom He dan atom Ne seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema tingkat energi He-Ne (Laud, B.B, 1988)

Karena atom–atom He lebih mudah terangsang daripada Ne maka atom He lebih dahulu tereksitasi dari keadaan dasar ke keadaan stabil. Jika suatu atom helium dalam keadaan metastabil membentur atom neon dalam keadaan dasar, maka akan terjadi pertukaran energi sehingga atom neon naik ke tingkat 2s atau 3s dan atom helium turun kembali ke keadaan dasar. Hal ini memungkinkan mekanisme populasi terpilih yang secara terus menerus memberikan atom Ne ke tingkat – tingkat 2s dan 3s yang akan menaikkan populasinya. Tingkat 2s dan 3s dari atom – atom Ne yang memiliki umur sekitar  $10^{-8}$  detik merupakan kondisi yang amat sesuai untuk terjadinya aksi laser (Apsari, 1998)

## **2.2 Sistem Sensor Pergeseran Mikro.**

Sistem sensor pergeseran mikro merupakan suatu sistem yang bekerja berdasarkan prinsip modulasi intensitas dan mengukur perpindahan atau jarak dalam sejumlah arah *range* 1 mikrometer (Kurniawan, W., 2008). Sistem sensor pergeseran mikro terdiri atas beberapa bagian dan komponen penyusun. Beberapa komponen penyusun sistem sensor pergeseran mikro tersebut antara lain : serat optik bundel, detektor optik, *optical chopper*, yang akan dijelaskan pada sub-bab 2.2.1 sampai dengan 2.2.3.

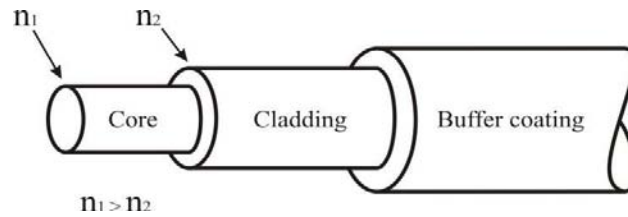
### **2.2.1 Serat Optik Bundel**

Sensor optik dibagi dalam dua kategori dasar, yaitu sensor modulasi intensitas dan sensor modulasi fase. Dibandingkan sensor modulasi fase, sensor modulasi

intensitas lebih banyak membutuhkan cahaya. Hal ini mengakibatkan sensor modulasi intensitas menggunakan inti serat moda jamak yang besar (serat optik bundel) (Sukmaningrum, R., 2011)

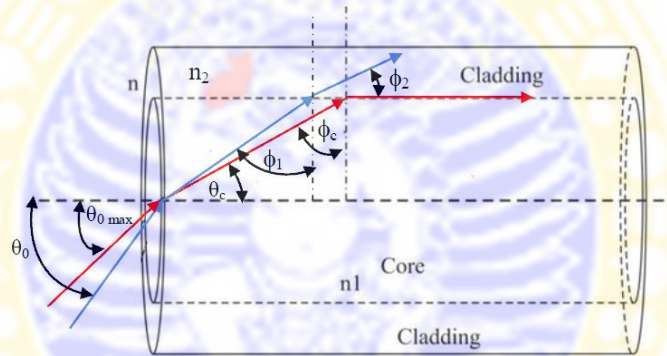
Serat optik (*fiber optic*) merupakan media pemandu gelombang cahaya (*light wave guide*) yang terbuat dari bahan transparan. Serat optik tersusun atas bagian inti (*core*) yang diselubungi oleh bagian yang disebut *cladding*, dimana indeks bias core lebih besar dari pada indeks bias *cladding*. Serat optik sangat rentan rusak. Oleh karena itu, sebuah lapisan plastik ditambahkan di bagian luar *cladding* untuk melindungi serat optik dari kerusakan-kerusakan yang terjadi pada permukaannya. Lapisan pelindung ini disebut *coating* atau *buffer primer*. *Coating* berfungsi sebagai pelindung mekanis, tanpa mempengaruhi proses transmisi cahaya dalam serat optik (Crisp dan Elliot, 2008). Susunan dari serat optik tersaji dalam Gambar 2.2. Kecepatan transmisi serat optik sangat tinggi sehingga serat optik banyak digunakan sebagai saluran komunikasi dan media pencitraan.

Mekanisme pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik di dapatkan dari asas hukum Snellius dan pemantulan dalam total. Dalam pemahamannya mekanisme pemanduan gelombang cahaya dalam serat optik step 16 index menggunakan teori pembiasan sinar dalam mendeskripsikan perambatan muka gelombang cahaya.



Gambar 2.2. Susunan serat optik.

Penerapan hukum Snellius dilakukan pada proses pemantulan dan pembiasan sinar pada bidang batas antara dua medium yang berbeda. Hal tersebut tersaji dalam Gambar 2.3



Gambar 2.3 Sketsa perambatan sinar pada serat optik (Keiser, 1991)

Dimana sinar yang datang dari medium rapat ( $n_1$ ) ke medium kurang rapat ( $n_2$ ) akan dibiaskan menjauhi garis normal. Pada bidang batas antara *core* dan *cladding* dalam Gambar 2.3. Jika sudut  $\phi$  diperbesar secara gradual maka pada sudut  $\theta$  tertentu, sinar akan dirambatkan pada bidang batas kedua medium yaitu bidang batas *core* dan *cladding* (sinar tidak dibiaskan pada *cladding*). Pada saat  $\theta$  mencapai kondisi ini dinamakan sudut kritis ( $\phi_c$ )

$$\begin{aligned}
 n_1 \sin \phi_c &= n_2 \sin 90^\circ \\
 n_1 \sin \phi_c &= n_2 \\
 \sin \phi_c &= n_2 / n_1
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

dimana  $n_1$  dan  $n_2$  merupakan indeks bias *core* dan indeks bias *cladding*. Untuk nilai sudut  $\theta > \theta_c$  pada Gambar 2.3. tidak ada sinar yang dibiaskan ke dalam *cladding*, sehingga seluruh sinar akan terpandu dalam *core* serat optik.

Untuk mengetahui sudut sinar datang pada bagian *core* serat optik untuk memandu sinar, diterapkan hukum Snellius pada bidang batas antara *core* dan udara. Agar sinar dapat terpandu, maka sudut  $\theta_0 = \theta_{0 \max}$  sehingga persamaan Snellius menjadi :

$$\begin{aligned} n_0 \sin \theta_{0 \max} &= n_1 \sin \theta \\ n_0 \sin \theta_{0 \max} &= n_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} - \phi_c \right) \\ n_0 \sin \theta_{0 \max} &= n_1 \cos \phi_c \\ n_0 \sin \theta_{0 \max} &= n_1 \left( 1 - \sin^2 \theta_c \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (2.2)$$

dimana  $n_0$  adalah indeks bias udara yang nilainya 1, maka dengan menggabungkan persamaan (2.1) dan (2.2) dapat menjadi persamaan berikut.

$$n_0 \sin \theta_{0 \max} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) merupakan hubungan antara sudut datang sinar dengan indeks bias ketiga medium yang berinteraksi. Hubungan tersebut dinyatakan sebagai aperture numerik (NA), sehingga nilai NA serat optik dapat ditulis sebagai berikut

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2.4)$$

didefinisikan beda indeks bias antara *core* dan selubung menurut persamaan:

$$NA = \sqrt{n_1(n_1 + n_2)\Delta} \quad ; \quad \Delta = (n_1 - n_2)/n_1 \quad (2.5)$$

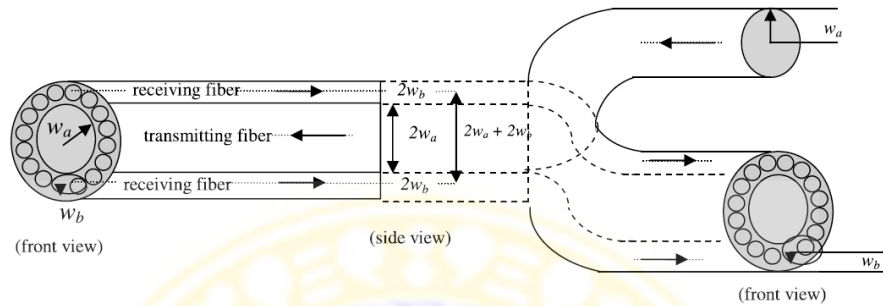
Dimana perbedaan nilai  $n_1$  dan  $n_2$  sangat kecil sehingga  $(n_1+n_2) \approx 2n_1$ , oleh sebab itu:

$$NA = n_1\sqrt{2\Delta} \quad (2.6)$$

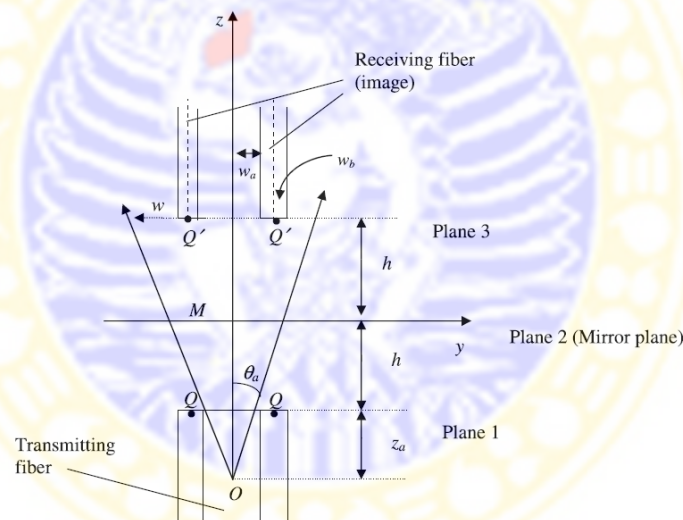
Nilai  $\Delta$  berkisar 1% - 3% untuk serat optik multimode dan 0,2% - 1% untuk serat optik *singlemode* (Keiser, 1991). Nilai NA untuk serat optik step-index berkisar antara 0,2–0,5. Untuk serat optik step-index multimode dari bahan plastik berdiameter *core* besar, nilai NA antara 0,3 – 0,5 (Sukmaningrum, R., 2011) Dalam penelitian ini akan digunakan serat bundel konsentris.

Pengoperasian sensor serat bundel yang terpandu didasarkan pada modulasi intensitas cahaya yang dipantulkan dari permukaan suatu benda. Salah satu ujung serat optik terpisah menjadi cabang Y, di mana salah satu cabang terhubung ke sumber cahaya dan yang lain terhubung ke foto detektor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Ujung lainnya merupakan gabungan dari serat bundel, yang terdiri dari satu inti transmisi dan 16 inti penerima. Prinsip kerja sensor serat bundel adalah cahaya dari sumber cahaya ditransmisikan sepanjang inti transmisi ke permukaan benda. Cahaya ini kemudian dipantulkan dari benda dan masuk ke dalam *core* penerima, menuju ke foto detektor. Pada foto detektor, intensitas cahaya yang dipantulkan diukur. Dengan membandingkan intensitas cahaya yang dipantulkan (yang diukur dengan foto detektor) dengan yang berasal dari sumber cahaya (sudah diketahui), perpindahan dari permukaan benda dari ujung serat bundel dapat ditentukan oleh corong simetris dengan perbedaan sudut setengah  $\Theta_a$ , dan titik O

adalah puncak yang terletak pada jarak  $z_a$  dalam ujung serat (bidang datar 1), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Tampilan *Fiber Bundle 16 Receivers* (Yasin, M., *et.al*, 2009)



Gambar 2.5 Corong cahaya yang keluar dari serat transmisi (Yasin, M., *et.al*, 2009)

Secara analisis, corong cahaya dari serat transmisi (bidang datar 1) panjang melampaui cermin datar (bidang datar 2) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, dan letak gambar pada bidang penerima (bidang datar 3) dianalisis untuk menentukan jumlah cahaya yang diterima oleh serat penerima. Sumbu  $z$  merupakan arah corong cahaya yang dipancarkan, berpusat di titik  $O$  dan meluas melampaui permukaan



cermin. Koordinat titik pusat dalam menerima *core end* serat adalah  $Q'$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan diwakili oleh persamaan (2.7),

$$Q' = \begin{cases} y = \frac{5}{4} w_a \\ z = 2h + z_a \end{cases} \quad (2.7)$$

dimana  $w_a = 4w_b$  dan  $h$  adalah jarak pergeseran yang di pantau.

Analisis teoritis menggunakan pendekatan berkas Gaussian elektromagnetik untuk menentukan fungsi perpindahan sensor, yang tergantung pada variasi dari daya optik dikumpulkan oleh *core* serat penerima. Pendekatan ini menggambarkan cahaya meninggalkan bundel serat transmisi sebagai berkas fraksial dengan sifat Gaussian. Radiasi dari cahaya yang dipancarkan berkurang secara eksponensial, sesuai dengan :

$$I(r, z) = \frac{2P_E}{\pi w^2(z)} \exp\left(-\frac{2r^2}{w^2(z)}\right) \quad (2.8)$$

dengan  $r$  adalah koordinat radial,  $z$  adalah koordinat longitudinal, dan jari-jari  $w(z) = w_0\sqrt{1 + (z/z_R)^2}$  adalah ukuran lebar berkas yang bergantung pada  $z$ .  $P_E$  adalah daya yang dipancarkan pada titik  $O$ . Dengan konstanta  $w_0$  dan  $Z_R$  adalah radius pinggang dan *Rayleigh length*, diberikan hubungan dengan persamaan :

$$\pi w_0^2 = \lambda z_R \quad (2.9)$$

Dalam kasus dimana titik terletak di area medan jauh ( $Z \gg Z_R$ ), berkas menyerupai gelombang berbentuk bola yang dibatasi dalam sebuah kerucut seperti

digambarkan pada Gambar 2.5. Kerucut ditandai dengan sudut divergensi yang diberikan oleh (pendekatan sudut kecil) yang diberikan pada persamaan 2.10 :

$$\theta_a \approx \tan \theta_a = \frac{w(z)}{z} = \frac{w_0}{z_R} = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (2.10)$$

dan fungsi radiasi dapat disederhanakan menjadi :

$$I(r, z) = \frac{2P_E}{z^2 \pi \theta_a^2} \exp\left(-\frac{2r^2}{\theta_a^2 z^2}\right) \quad (2.11)$$

Daya optik dikumpulkan oleh serat penerima dan ditinjau dengan mengintegrasikan  $I(r, z)$  pada persamaan 2.11 dengan permukaan serat  $S_b$  sebagai :

$$P(z) = \int_{S_b} I(r, z) dS. \quad (2.12)$$

Radiasi  $I(r, z)$  tersebut diasumsikan mendekati konstan di seluruh permukaan penerima yang memiliki daerah  $S_a = \pi w_a^2$ ,  $S_b = \pi w_b^2 = \frac{1}{16} \pi w_a^2$  dan sebanding dengan nilai di pusat serat penerima (titik Q') di mana  $r = \frac{5}{4} w_a \approx \frac{5}{4} \theta_a z_a$ . Pada kasus ini, di dapatkan :

$$P = IS_b = \frac{2P_E}{\zeta^2} \exp\left(-\frac{25}{8\zeta^2}\right) \quad (2.13)$$

$$\zeta = \frac{z}{z_a} = 1 + \frac{2h}{z_a} = 1 + 2h_N \quad (2.14)$$

dan  $h_N$  adalah jarak normal. Dari analisis  $dP/d\zeta = 0$  daya dikumpulkan mencapai nilai yang maksimum  $P_{\max} = 16P_E/(25e)$  saat  $\zeta = \sqrt{25/8} h_N = 0.4$ . Dengan menggunakan persamaan tersebut dalam perhitungan, kita dapat menulis ulang persamaan (2.13) dalam bentuk normalisasi daya keluaran dari serat optik bundel konsentris menggunakan objek cermin datar, yaitu

$$P_N = \frac{25}{8\zeta^2} \exp\left(1 - \frac{25}{8\zeta^2}\right) \quad (2.15)$$

(Yasin, M., *et.al*, 2009)

Dengan mempertimbangkan bahwa fungsi transfer yang diturunkan untuk cermin datar sebagai reflektor dengan reflektifitas 100%, maka normalisasi daya keluaran dari serat optik bundel konsentris ketika menggunakan permukaan gigi tiruan sebagai reflektor diberikan pada

$$P_{New} = RP_N \quad (2.16)$$

dimana R adalah reflektifitas permukaan gigi tiruan.

Reflektifitas permukaan gigi tiruan diperoleh sebesar 4,18% dengan membandingkan kekuatan sumber cahaya sebelum dan sesudah merefleksikan permukaan bahan gigi tiruan. Oleh karena itu, fungsi transfer daya keluaran serat optik bundel konsentris untuk permukaan gigi tiruan menjadi:

$$P_N = \frac{1.045}{8\zeta^2} \exp\left(1 - \frac{25}{8\zeta^2}\right) \quad (2.17)$$

(Rahman, *et.al*, 2012)

### 2.2.2 Detektor Optik

Detektor optik atau detektor cahaya berfungsi sebagai alat penerima fungsi dari penerima komunikasi optik. Fotodetektor mengubah sinyal optik menjadi sinyal elektrik. Keluaran dari penerima adalah sinyal elektrik yang memenuhi spesifikasi dari pengguna kekuatan sinyal, level impedansi, *bandwidth*, dan parameter lainnya.

Bentuk sistem fotodetektor termasuk dalam alat penerima yang sesuai, biasanya adalah semikonduktor photodiode yang berasal dari komponen optik gelombang cahaya ke alat fotodetektor silikon *photo-detector* dengan kecepatan respon 100  $\mu\text{m}/\mu\text{W}$ . Keluaran dari detektor optik telah dimodulasi dan diperkuat (Ayuni, *et.al.*, 2011)

Detektor optik yang digunakan pada penelitian tersebut adalah *Silicon Photodetector OPT-101, Brurr Brown*. Detektor optik ini berfungsi sebagai pendeteksi intensitas yang akan diukur dan diubah dalam bentuk tegangan.

Pada detektor optik, energi cahaya diubah menjadi energi listrik pada rentang panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang  $\lambda_0$  ditentukan berdasarkan selisih energi  $E_g$  bahan semikonduktor yang digunakan. Apabila  $E_g$  bahan dinyatakan dalam elektronvolt (eV), maka  $\lambda_0$  dalam satuan  $\mu\text{m}$  diberikan oleh persamaan berikut :

$$\lambda_c (\mu\text{m}) = \frac{hc}{E_g} = \frac{1,2398}{E_{F(0)}(eV)} (\mu\text{meV}) \quad (2.18)$$

Untuk bahan silikon, selisih energinya 1,21 eV. Terjadinya perubahan energi cahaya menjadi energi listrik bila gandengan antara bahan p dan n disinari. Apabila energi radiasi yang datang lebih besar atau sebanding dengan selisih energi ( $E_g$ ) dari bahan semikonduktor, maka radiasi tersebut akan menyebabkan elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Proses ini akan menyebabkan terbentuknya pasangan elektron-hole yang menghasilkan arus foton (Born and Wolf, 1980).

Nilai arus foton bergantung pada intensitas dan panjang gelombang dari cahaya yang datang. Besarnya penyerapan yang didapat dilakukan bergantung pada

intensitas yang diterima, dimana semakin banyak intensitas yang diterima maka semakin besar sinyal yang dihasilkan dan sebaliknya, jika intensitas yang diterima kecil, maka sinyal yang dihasilkan akan semakin kecil pula. Bila cahaya yang diterima dari sumber radiasi sebagai intensitas mula-mula  $I_0$  maka setelah melewati ruang sampel intensitas yang diterima akan berkurang karena penyerapan yang dilakukan oleh sampel, intensitas akan berubah menjadi  $I$ . Daya radiasi yang diserap bahan semikonduktor sesuai dengan bentuk eksponensial seperti pada persamaan berikut

$$P(x) = P_0(1 - e^{-\alpha_s(\lambda)r}) \quad (2.19)$$

Dengan  $\alpha_s(\lambda)$ ,  $P_0$  dan  $P(x)$  masing-masing adalah koefisien serapan pada panjang gelombang  $\lambda$ , daya optik yang datang, dan daya optis yang diserap pada daerah selebar  $x$ . Bila daerah deplesi sebesar  $w$ , maka daya total yang diserap adalah

$$P(w) = P_0(1 - e^{-\alpha_s(\lambda)w}) \quad (2.20)$$

Terdapat dua parameter yang menentukan sifat detektor optik, yaitu efisiensi kuantum dan tanggapan dari detektor tersebut. Parameter tersebut bergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan, panjang gelombang, dan doping dari bahan semikonduktor yang digunakan. Efisiensi kuantum  $\eta$  adalah jumlah pasangan elektron-hole yang dihasilkan perjumlah foton yang datang dengan energi  $h\nu$

$$\eta = \frac{\text{jumlah pasangan elektron-hole yang dihasilkan}}{\text{jumlah photon yang datang}} \quad (2.21)$$

$$\eta = \frac{I_p/q}{P_0/h\nu} \quad (2.22)$$

Ketanggapan  $R$  (*responsivity*) dari detektor optik adalah perbandingan antara arus foto yang dihasilkan dengan daya optis yang datang disajikan dalam persamaan (2.23s)

$$R = \frac{I_p}{P_o} \quad (2.23)$$

Dari persamaan 2.23 tampak bahwa nilai efisiensi kuantum fotodiode adalah berbanding terbalik dengan ketanggapan. Semakin besar lebar daerah defleksi  $w$  maka semakin besar nilai  $\eta$  yang berarti semakin baik kepekaannya, namun ketangguhannya akan semakin rendah (Laud, B.B, 1988).

Sinyal yang dihasilkan oleh fotodiode sebagai detektor optis adalah tegangan. Namun tegangan yang dihasilkan masih sangat lemah. Agar tegangan dapat diamati maka diperlukan amplifier yang pada umumnya digunakan untuk memperkuat tegangan yang ada.

Output tegangan dari detektor optis ini akan diterima oleh *Lock-in amplifier* dan diolah dengan menggunakan program Delphi 7, sehingga dapat digunakan sebagai acuan pada proses visualisasi dari diameter lubang pada gigi tiruan.

### **2.2.3 Optical Chopper**

*Optical Chopper* banyak digunakan dalam instrumentasi deteksi cahaya. *Optical chopper* merupakan alat yang mampu memotong-motong cahaya laser sehingga ada cahaya yang diteruskan dan ada cahaya yang terhalang (Hidayah, *et.al*, 2010). Prinsip *optical chopper* itulah yang mampu mengubah sinyal kontinyu

menjadi pulsa. *Optical chopper* bergerak melingkar mengikuti aturan gerak melingkar beraturan. Gerak melingkar beraturan adalah gerak dengan lintasan berbentuk lingkaran dengan kecepatan konstan (Fishbane, P.M., 2005)

Pada penelitian ini akan digunakan *Optical Chopper* tipe *SR540 Stanford Research System, Inc* yang dihubungkan ke *lock-in amplifier*.

### **2.3 *Optical Imaging***

*Optical imaging* atau pencitraan optik adalah salah satu metode dari *image processing* yang menggunakan teknik pencitraan optik. *Optical imaging* menggambarkan perilaku cahaya tampak, ultraviolet, dan inframerah yang digunakan dalam pencitraan.

Dalam penelitian ini digunakan laser He-Ne dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) 633 nm berwarna merah, dimana metode *optical imaging* mengelola warna merah dari sumber cahaya.

#### **2.3.1 Karakteristik Cahaya**

Cahaya merupakan suatu bentuk radiasi elektromagnetik yang dicirikan oleh amplitudo, panjang gelombang atau frekuensi, fase, polarisasi, kecepatan perambatan dan arah perambatannya (Marshall, 2004). Spektrum gelombang elektromagnetik disajikan pada Gambar 2.6. Interaksi cahaya dengan bahan sampel yang diteliti merupakan hal yang menentukan dalam pembuatan sistem digital.

Selain frekuensi dan panjang gelombang, karakteristik warna cahaya juga di tentukan oleh intensitas yang terkait dengan kecerahan (*brightness*) atau *luminance*, kemurnian (*purity*) dan kejenuhan (*saturation*).

#### 1. Kecerahan (*brightness/luminance*)

Kecerahan adalah besar intensitas cahaya yang dirasa atau dipahami manusia tanpa menghiraukan warnanya. Pada gambar hitam putih, bagian yang terang memiliki kecerahan yang lebih besar daripada daerah yang gelap.

#### 2. Hue

Hue merupakan warna dominan dari cahaya yang dipancarkan atau dipantulkan. Warna benda dapat dibedakan oleh hue atau warna dominannya.

#### 3. Kejenuhan (*saturation*)

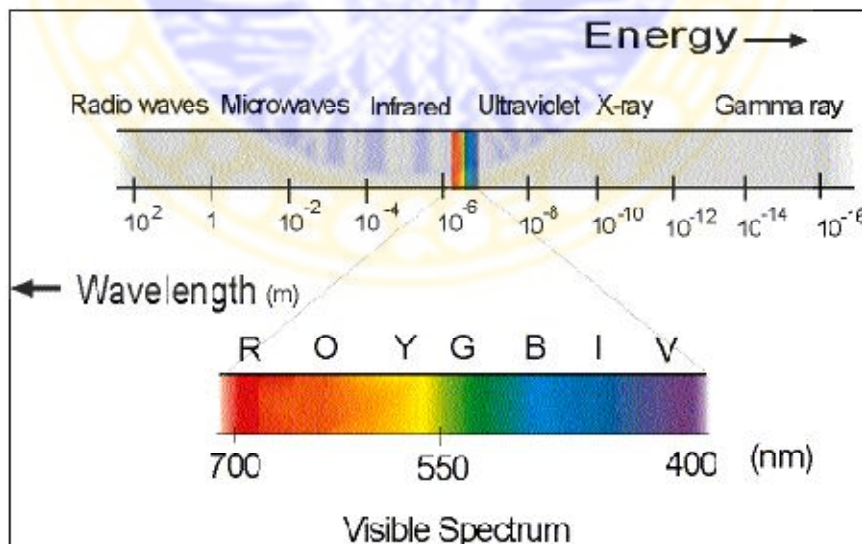
Kejenuhan atau saturasi merupakan kadar kemurnian suatu cahaya. Cahaya berwarna yang dengan *hue* tunggal jarang di dapati secara alami. Pada setiap warna alami terdapat adanya sejumlah warna-warna lain. Kejenuhan mengidentifikasi banyak warna tertelan (*diluted*) warna putih (Apsari R., dan Yhuwana, 2007).

Secara umum citra berarti gambaran dari obyek sebenarnya. Dalam media visual 2 dimensi (2D), citra dibedakan menjadi 2 kelompok berdasarkan elemen elemen penyusunannya , yaitu (Apsari R., dan Yhuwana, 2007) :



1. Citra analog adalah citra  $f(x,y)$  dengan  $(x,y)$  menyatakan koordinat ; baik dalam domain spasial ataupun frekuensi dan  $f$  menyatakan kecerahan (*brightness*) yang nilainya riil dan tidak terbatas.
2. Citra digital adalah citra  $f(x,y)$  dengan  $(x,y)$  menyatakan koordinat, baik dalam domain spasial ataupun frekuensi dan  $f$  menyatakan kecerahan yang nilainya tercatu dan terbatas.

Komputer hanya mengerti dan mampu mengolah informasi dalam bentuk sinyal digital. Oleh karena itu sebelum citra analog diproses dalam komputer digital maka citra tersebut harus diubah dulu menjadi citra digital melalui proses digitasi, melalui teknik *scanning*, *digital photograph* atau teknik lainnya. Contoh digitizer antara lain adalah *scanner*, *microdensitometer*, *vidicon camera* (Apsari R., 2009).



Gambar 2.6. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Informasi visual yang menyusun sebuah citra direpresentasikan oleh komputer digital sebagai kumpulan titik yang tersusun dalam matrik atau larik dua dimensi. Setiap titik disebut pixel (*picture element*) dan setiap pixel dipetakan oleh satu atau lebih bit dalam memori komputer. Masing-masing bit berhubungan dengan gerbang elektronika yang dapat dibuka atau ditutup, dinyatakan dengan tegangan tinggi (bernilai 1) dan tegangan rendah (dianggap bernilai 0). Perubahan terhadap komposisi nilai dalam setiap bit dapat menyebabkan perubahan tampilan warna dalam layar monitor.

### 2.3.2 RGB (*Red, Green, Blue*)

Tingkat keabuan (*gray level*) menampilkan warna citra dalam tingkat-tingkat keabuan. Intensitas citra  $f$  pada koordinat  $(x,y)$  disebut tingkat keabuan (*gray level*) dengan  $l$  terletak pada jangkauan  $L_{\min} \leq l \leq L_{\max}$ . Jangkauan antara tingkat keabuan terendah ( $L_{\min}$ ) hingga tingkat keabuan tertinggi ( $L_{\max}$ ) disebut skala keabuan (*gray scale*). Nomor warna untuk setiap tingkat keabuan tersusun atas tiga nomor warna primer dengan nilai yang sama. Biasanya  $L_{\min} = 0$  menunjukkan warna hitam dan  $L_{\max} = L$  menunjukkan warna putih (Apsari, 2009).

Tingkat keabuan citra di setiap titik di dalam ruang koordinat citra sebanding dengan intensitas cahaya  $I$  yaitu :

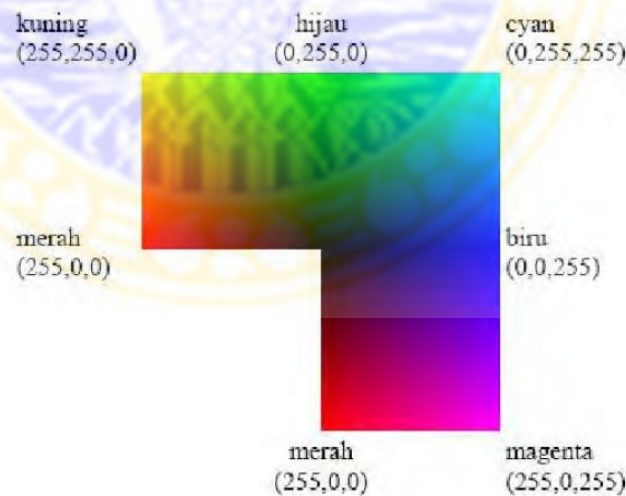
$F(x,y) \propto I$  ; dalam ruang citra 2 dimensi

atau

$F(x,y,z) \in I$ ; dalam ruang citra 3 dimensi

Dengan  $f(x,y)$  dan  $f(x,y,z)$  adalah tingkat keabuan citra. *Image* sebagai sarana tampilan visual dari benda diwakilinya, menampilkan citra dengan distribusi tingkat variasi tingkat keabuan di setiap titik di dalamnya yang dipengaruhi oleh *RGB*.

*RGB* merupakan suatu model warna yang terdiri dari merah, hijau, dan biru, digabungkan dalam membentuk suatu susunan warna yang luas. Setiap warna dasar, misalnya merah, dapat diberi rentang nilai. Nilai rentangnya paling kecil adalah 0 dan paling besar adalah 255. Pilihan skala 256 ini didasarkan pada 8 digit bilangan biner (Hertiningsih, 2008). Bentuk representasi warna dari sebuah citra digital dapat dilihat pada Gambar 2.7. Dimana kombinasi warna yang memberikan rentang warna yang paling lebar adalah *red* (R), *green* (G), *blue* (B) (Fadlisyah, 2008).



Gambar 2.7 Representasi warna digital (Hertiningsih, 2008)

### 2.3.3 Histogram

Histogram merupakan grafik fungsi dari distribusi frekuensi tingkat keabuan citra yang menggambarkan kuantitas *pixel* citra sebagai fungsi tingkat keabuannya (Apsari, 2009). Histogram tingkat keabuan citra memberikan informasi secara global tentang kecerahan dan kontras citra. Dari citra berukuran  $N \times N$ , dengan fungsi distribusi frekuensi tingkat keabuan  $h(f(x,y))$  sebagai fraksi jumlah piksel bertingkat keabuan  $f(x,y)$  dalam range  $0 < h(f(x,y)) < N^2$  dan  $0 < f(x,y) < 255$  diperoleh berbagai karakteristik tampilan citra seperti diilustrasikan pada Gambar 2.8.

Untuk keperluan diagnosis suatu obyek melalui *image* sebagai media pengamatan diperlukan sistem pengolah citra yang mampu menghasilkan citra digital yang menyerupai citra analognya dan dapat melakukan pengolahan lebih lanjut bagi kepentingan analisis dan interpretasi secara lebih teliti. Untuk citra warna, dapat dibuat histogram untuk masing-masing warna dasar *RGB*-nya yang ditampilkan pada Gambar 2.9

### 2.3.4 Program Matlab

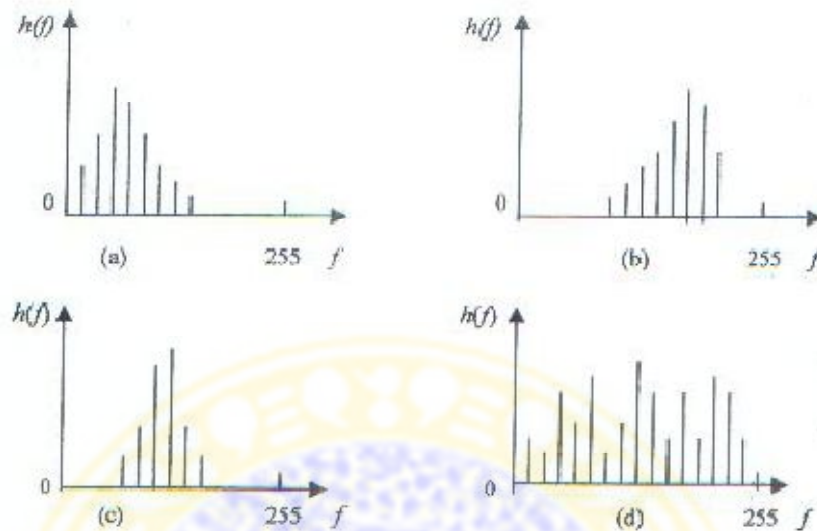
Matlab (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koleksi rutin-rutin *numeric* dari LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN

namun sekarang dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* untuk fungsi-fungsi dasar Matlab.

Matlab telah berkembang menjadi *environment* pemrograman canggih yang berisi fungsi-fungsi *built-in* untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. Matlab juga berisi toolbox yang berisi fungsi-fungsi tambahan untuk aplikasi khusus. Matlab bersifat *extensible*, dalam arti pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada *library* ketika fungsi-fungsi *built-in* yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu.

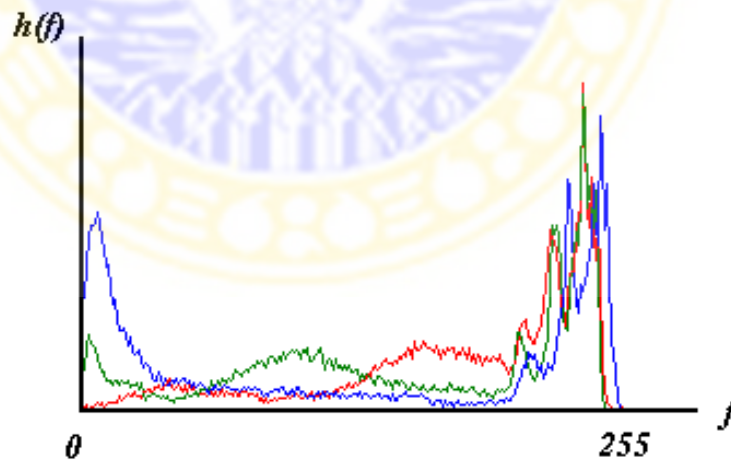
Matlab menyediakan berbagai fungsi untuk menampilkan data, salah satunya adalah menampilkan data dalam bentuk tiga dimensi. Beberapa fungsi untuk menggambar garis dalam Matlab dapat dikombinasikan dengan rekompresi pengaturan warna sebagai dimensi keempat, dimana data inputan berupa data numerik akan diproses dengan cara matrikulasi (Hanselman, D, 2000).

Dalam penelitian ini, program Matlab digunakan sebagai tools untuk memvisualisasikan data keluaran dari sistem sensor pergeseran. Tampilan awal program Matlab dapat diamati pada Gambar 2.10

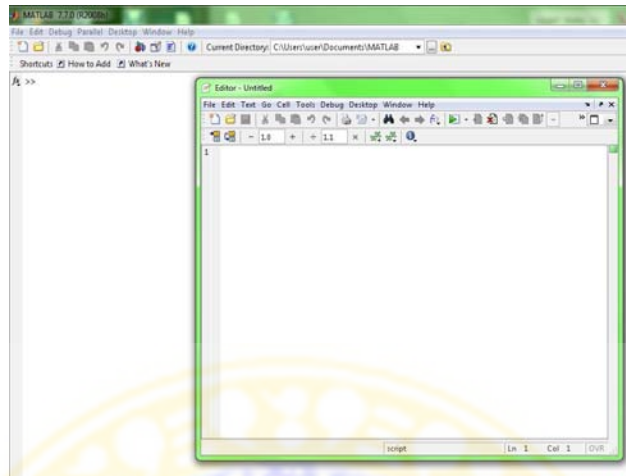


Gambar 2.8. Contoh bentuk histogram untuk berbagai sebaran tingkat keabuan beserta tampilan citra disajikan pada 2.8(a)-2.8(d) (Apsari R., 2009).

- (a). Menumpuk pada tarap rendah, tampilan cenderung gelap
- (b). Menumpuk pada tarap tinggi, tampilan cerah
- (c). Menumpuk pada tarap menengah, tampilan kurang cerah
- (d). Merata diseluruh tarap, tampilan yang kontras.



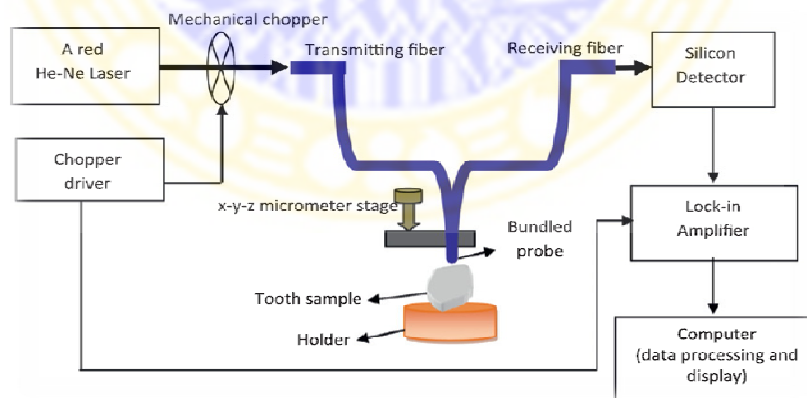
Gambar 2.9. Contoh histogram dari sebuah image warna (Apsari R., 2009).



Gambar 2.10. Tampilan awal Program Matlab

## 2.4 Sistem Sensor Pergeseran Mikro Berbasis *Optical Imaging*

*Optical imaging* pada penelitian ini didapatkan dari pengelolaan data output sistem sensor pergeseran mikro. Desain set-up eksperimen pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.11 (Rahman, A.H. *et.al*, 2012).



Gambar 2.11. Set-up eksperimen sistem sensor pergeseran

Dari penyusunan set-up eksperimen didapatkan data tegangan keluaran terhadap pergeseran. Dilakukan plot data antara tegangan keluaran fotodetektor

terhadap pergeseran. Dari plot data tersebut dapat ditentukan variabel fisis yang menjadi kinerja dari sistem sensor pergeseran mikro, yaitu : jangkauan linier, tegangan puncak sensitivitas, dan resolusi (Rahman, *et.al*, 2012). Jangkauan linier adalah rentang pergeseran terjauh yang dapat dirasakan oleh sistem sensor pergeseran mikro. Daerah linier daerah kerja sistem sensor pergeseran mikro, yaitu rentang pergeseran yang mempunyai hubungan linier dengan parameter keluaran sensor (tegangan keluaran dari foto detektor). Tegangan puncak nilai tegangan keluaran tertinggi dari sistem sensor pergeseran mikro yang dapat ditangkap oleh foto detektor. Besar nilai tegangan puncak dijadikan acuan untuk menentukan posisi peletakkan serat optik terhadap sampel pada proses *scanning* sampel. Resolusi adalah pergeseran minimum yang dapat dirasakan oleh sistem sensor pergeseran mikro. Sedangkan sensitivitas adalah rasio antara parameter keluaran sensor terhadap parameter yang dirasakan (Yasin, *et. al*, 2008). Besar nilai sensitivitas digunakan untuk mencari nilai resolusi (R) dengan persamaan:

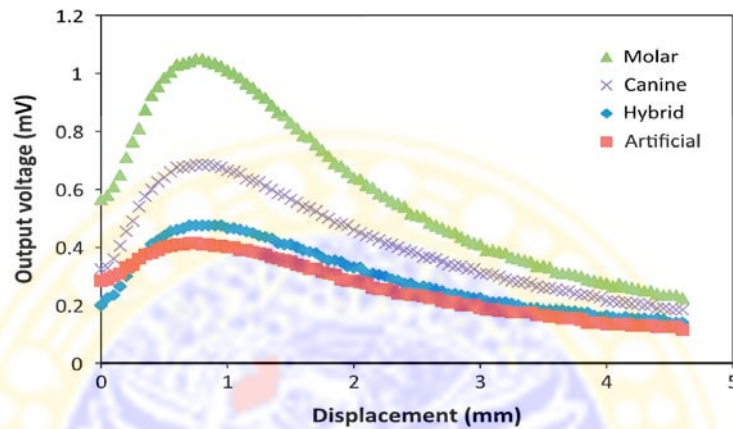
$$R = \frac{\text{Stabilitas intensitas}}{\text{sensitivitas}}. \text{ (Aini, 2012)}$$

Contoh gambar plot data pergeseran terhadap tegangan disajikan pada Gambar 2.12 (Rahman, A.H. *et.al*, 2012).

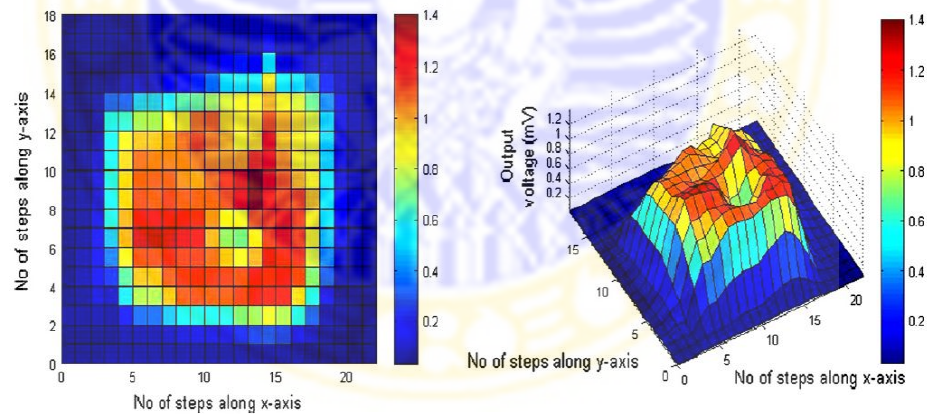
Menurut Rahman *et.al* (2012), output variabel fisis dari sistem sensor pergeseran mikro berupa jangkauan linear dan tegangan puncak dapat menjadi acuan pada proses visualisasi dengan metode *optical imaging*. Metode *optical imaging pada aplikasi* sistem sensor pergeseran mikro mampu menyediakan stabilisasi gambar



yang dapat digunakan untuk estimasi diameter lubang pada bahan gigi tiruan secara dua dimensi dan tiga dimensi. Contoh hasil visualisasi data hasil sistem sensor pergeseran tersaji pada Gambar 2.13 (Rahman, A.H. *et.al*, 2012).



Gambar 2.12. Contoh Plot grafik data hasil keluaran dari sistem sensor pergeseran



Gambar 2.13. Contoh hasil visualisasi data hasil sistem sensor pergeseran dengan program Matlab.

## 2.5 Gigi Tiruan

Gigi tiruan merupakan suatu alat yang berfungsi untuk menggantikan sebagian atau seluruh gigi asli yang hilang. Meskipun kemajuan dalam bidang

estetika kedokteran gigi sangat pesat, namun fungsi dari gigi tiruan juga didukung oleh kondisi fisik seseorang. Tanpa adanya gigi yang mendukung rahang dan *gingiva*, kulit dapat tampak kendur, dan dapat mengakibatkan penurunan kemampuan seseorang untuk makan dan berbicara yang pada akhirnya akan mempengaruhi kualitas hidup seseorang (Nuning F, 2011).

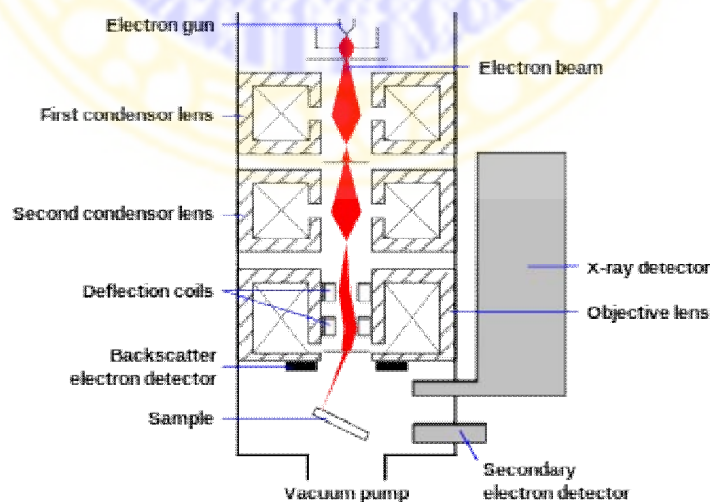
Untuk mengatasi hal tersebut, terdapat beberapa pilihan perawatan antara lain dapat dibuatkan gigi tiruan jembatan, implan, atau gigi tiruan sebagian lepasan. Terdapat tiga jenis bahan gigi tiruan yang sering digunakan untuk membuat gigi tiruan lepasan maupun gigi tiruan implan, yaitu gigi tiruan berbahan *acrylic denture*, gigi tiruan berbahan *nano hybride compossite*, gigi tiruan dengan barbahan *varplast* dan gigi tiruan dengan bahan dasar *nano filler compossite* (Tinanoff, N., 2002). Biokompatibilitas bahan gigi tiruan tersebut memiliki beberapa keunggulan seperti tidak toksik, tidak iritasi, tidak larut dalam cairan mulut, memiliki nilai estetik yang baik, mudah dimanipulasi, mudah direparasi dan perubahan dimensi kecil (Indrawati, L. 2008).

## **2.6 SEM (Scanning Electron Microscope)**

*Scanning electron microscope* atau yang lebih dikenal dengan SEM adalah mikroskop yang mampu untuk melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali, yang menggunakan elektro statik dan elektro magnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan pembesaran objek serta resolusi yang

jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya. Mikroskop elektron ini menggunakan jauh lebih banyak energi dan radiasi elektromagnetik yang lebih pendek dibandingkan mikroskop cahaya (McMullan, 2006).

Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*cathode ray tube*). Di layar CRT tersebut gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pada proses pengoperasian, SEM tidak memerlukan sampel yang ditipiskan, sehingga bisa digunakan untuk melihat obyek dari sudut pandang 3 dimensi (Suzuki, E. 2002). Contoh skematik dari SEM disajikan pada Gambar 2.14 (McMullan, 2006).



Gambar 2.14. Skematik sistem kerja dari SEM.