

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Deskripsi Teori**

##### **1. Definisi Plasma**

Plasma secara garis besar adalah gas terionisasi. Suatu gas dikatakan terionisasi jika terdiri dari atom-atom yang terionisasi bermuatan positif (ion) dan elektron yang bermuatan negatif. Plasma terbentuk dari gas terionisasi di dalam tabung, yang digolongkan menjadi dua yaitu terionisasi lemah dan terionisasi kuat. Terionisasi lemah apabila derajat ionisasi lebih rendah dari  $10^{-4}$  sedangkan terionisasi kuat apabila derajat ionisasi lebih besar dari  $10^{-4}$  (Santoso. B, 1976: 67). Pada prinsipnya, karena proses ionisasi membutuhkan energi dalam orde elektron volt untuk melepas elektron, maka dalam membuat plasma harus ditambahkan energi dalam suatu sistem. Penambahan ini bisa dilakukan dengan osilator gelombang mikro (RF) pada ruangan bertekanan rendah. Meskipun plasma merupakan gas terionisasi, namun tidak semua gas terionisasi disebut plasma (Konuma dkk, 1992: 48).

Plasma dapat dibuat dengan cara memanfaatkan tegangan listrik, misal dengan menghadapkan dua buah elektroda di udara bebas; dalam hal ini udara merupakan suatu isolator yaitu materi yang tidak dapat menghantarkan listrik. Pada kedua elektroda dipasang tegangan listrik yang cukup tinggi sehingga sifat konduktor akan muncul pada udara di antara kedua elektroda dan bersamaan dengan itu arus listrik mulai mengalir. Aliran arus listrik ini menunjukkan adanya ionisasi yang

mengakibatkan terbentuknya ion serta elektron di antara dua elektroda tersebut dengan plasma (Sugiarto dkk, 2000: 55).

Plasma juga merupakan kumpulan dari atom-atom dan molekul-molekul gas netral, partikel-partikel bermuatan dalam bentuk ion-ion positif, ion-ion negatif dan elektron serta foton. Sebagian besar plasma dihasilkan melalui lintasan arus yang melewati gas netral. Plasma terionisasi lemah mempunyai partikel-partikel netral yang lebih banyak dari partikel bermuatan. Satu di antara sifat yang penting dari plasma adalah kecenderungannya untuk tetap netral secara listrik yaitu kecenderungan untuk membuat setimbang antara muatan positif dan negatif di dalam setiap bagian volum makro. Sedikit ketidakseimbangan rapat muatan ruang menimbulkan gaya listrik-listrik yang kuat, yang bilamana mungkin akan memulihkan kenetralan. Sebaliknya, apabila plasma diletakkan dalam pengaruh medan listrik luar, rapat muatan akan menyesuaikan diri sehingga sebagian besar dari plasma akan terlindung dari medan (Reitz, dkk, 1993: 366). Komposisi plasma dari berbagai jenis ion baik positif atau negatif pada kerapatan ( $n_{i1}, n_{i2}, n_{i3} \dots$ ) memiliki hubungan:

$$n_e = n_{i1}, n_{i2}, n_{i3} \dots = n \quad (1)$$

Hubungan ini menunjukkan netralisasi listrik pada plasma dengan  $n$  sebagai kerapatan plasma. Muatan sistem plasma dihasilkan di antara elektroda dan ketebalan daerah muatan ruang yang merupakan panjang Debye ( $\lambda_D$ ) yang bergantung pada temperatur elektron ( $T_e$ ) dengan rumus sebagai berikut:

$$\Lambda_d = \sqrt{\frac{k T_e}{4\pi n_i}} \quad (2)$$

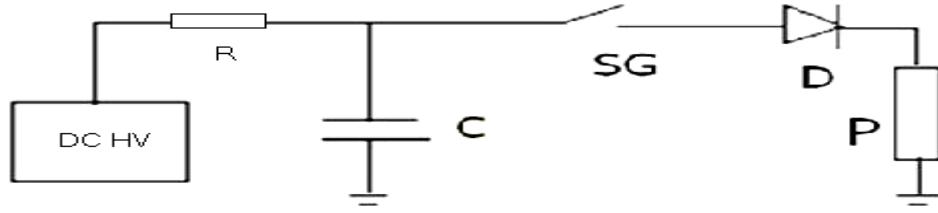
dengan  $T$  adalah temperatur (K),  $n_i$  adalah kerapatan ion (partikel / m<sup>3</sup>) dan  $k$  adalah konstanta Boltzman. Ionisasi gas dapat disebut sebagai plasma dengan syarat panjang Debye lebih kecil dari ukuran celah lucutan (Gertenhous, 1964: 83).

## 2. Plasma Lucut

Tahun 1889, F. Pashchen menurunkan rumusan empirik yang sampai saat ini dikenal dengan Hukum Paschen. Hukum tersebut menyatakan bahwa lucutan dadal antara dua celah dalam ruang vakum (tekanan dalam orde torr) sebagai fungsi tekanan gas dan jarak celah, secara umum dituliskan  $V_{dadal} = f(pd)$ , dengan  $p$  tekanan dan  $d$  jarak celah. Rumusan umum tegangan dadal sebagai fungsi tekanan dan jarak dituliskan sebagai berikut:

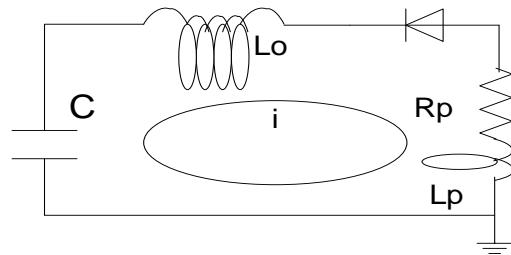
$$V_{dadal} = \frac{Apd}{\ln(pd)+B} \quad (3)$$

Untuk gas isian udara koefisien  $A$  besarnya 365 volt/(cm.torr),  $B$  sekitar 1,18 volt/(cm.torr), dan untuk gas-gas lain berkisar di antara nilai tersebut. Konsep tegangan dadal tersebut digunakan untuk sumber elektron berbasis plasma tipe diode yang rangkaianya ditunjukkan pada Gambar 1 (Widdi Usada dkk, 2008: 6).



Gambar 1. Susunan Eksperimen Sumber Elektron Berbasis Plasma Pulsa

DCHV (*Direct Current Hipotronic Voltage*) adalah sumber tegangan tinggi yang digunakan untuk mengisi kapasitor  $C$  melalui tahanan  $R$ , dan selanjutnya tenaga di kapasitor dilucutkan melalui celah cetus terkendali SG (Spark-Gap) dan dioda  $D$ , dan seterusnya energi listriknya diberikan ke bejana plasma  $P$ . Rangkaian setara (ekivalen) sumber elektron berbasis plasma tipe dioda ditunjukkan pada Gambar 2, dengan  $C$  kapasitor bank,  $L_o$  adalah induktansi eksternal (jumlah dari induktansi kabel  $L_{kabel}$ , dan induktansi Spark-Gap  $L_{SG}$ ), dioda  $D$  mempunyai tahanan  $R_D$ ,  $R_P$  adalah tahanan bejana plasma, dan  $L_p$  adalah induktansi bejana plasma.



Gambar 2. Rangkaian Setara Lucutan Plasma Sumber Elektron dari Gambar 1

Dengan rangkaian setara lucutan plasma sumber elektron yang ditunjukkan Gambar 2 tersebut, dengan  $V_0$  adalah tegangan maksimum maka dapat disusun persamaan rangkaian listriknya yaitu:

$$V_0 = L_0 \frac{dI}{dt} + IR_P + IR_D + \frac{\int I dt}{C} + L_P \frac{dI}{dt} \quad (4)$$

Periode osilasi  $T_{os}$ , impedansi  $Z$  dan arus maksimum  $I_0$  akan memenuhi persamaan berikut ini.

$$T = 2\pi t_o = 2\pi \sqrt{L_0 C} \quad (5)$$

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C}} \quad (6)$$

$$I_o = \frac{V_0}{Z} \quad (7)$$

Persamaan 4 menunjukkan persamaan osilasi teredam yang penyelesaiannya akan memberikan karakteristik umum lucutan plasma seperti besaran arus, tegangan di bejana plasma, energi yang diberikan, periode osilasi, lebar pulsa, redaman, impedansi, dan lain sebagainya (Widdi Usada dkk, 2009: 6).

Dengan demikian rangkaian di atas (lucutan plasma sumber elektron) setara dengan rangkaian sumber elektron katode plasma, maka dapat disusun persamaan rangkaian ternormalisasi sebagai berikut:

$$I - (1 + \beta) \frac{dl}{dt} - l \alpha - \int l d\tau = 0 \quad (8)$$

Persamaan tersebut juga merupakan osilasi teredam dan dapat diselesaikan secara numerik dengan syarat batas:

$$\tau = 0 \quad (9)$$

$$l = 0 \quad (10)$$

$$\frac{dl}{d\tau} = \frac{1}{(1 + \beta)} \int l d\tau = 0 \quad (11)$$

Faktor normalisasinya adalah:

$$l = \frac{I}{I_0} \quad (12)$$

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{\frac{L_0}{C}}} \quad (13)$$

$$\tau = \frac{t}{t_0} \quad (14)$$

$$t_0 = \sqrt{L_0} C \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{Rp}{\sqrt{\frac{L_0}{C}}} \quad (16)$$

### 3. Sumber Elektron Berbasis Plasma Tipe Dioda

Sumber elektron dapat diambil dari lucutan plasma. Seperti yang telah kita ketahui plasma secara garis besar adalah gas terionisasi. Suatu gas dikatakan terionisasi jika terdiri dari atom-atom yang terionisasi bermuatan positif (ion) dan elektron yang bermuatan negatif. Oleh karena itu plasma akan menjadi sumber elektron bila seluruh elektron dapat diambil apabila penarik elektron tersebut memiliki tegangan positif.

Energi dalam plasma dapat berupa panas dan tekanan, sehingga di dalam perencanaan perlu dipertimbangkan *chamber* yang tahan terhadap tekanan dan panas yang diberikan energi listrik dalam plasma. Untuk arus besar, dan lebar pulsa

pendek, pada umumnya tekanan cukup besar sehingga sewaktu dioperasikan piranti pengukuran khususnya alat ukur vakum harus terlindung terhadap tekanan plasma (Widdi Usada dkk, 2009: 3).

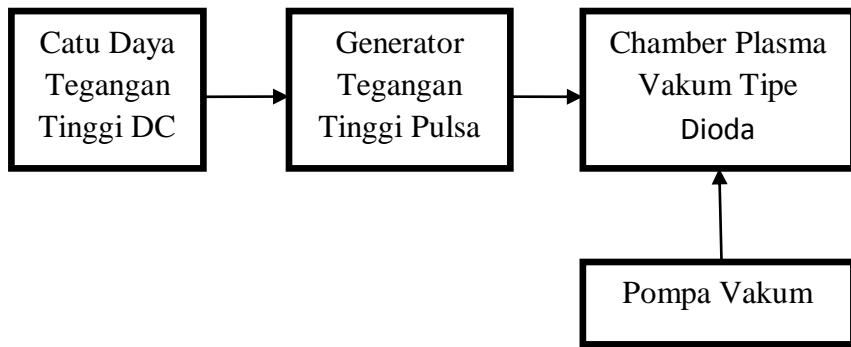
Luas berkas elektron  $A$  menentukan rapat arus elektron  $J$ , berdasar relasi arus  $I = J.A$ . Namun perlu diketahui bahwa elektron yang diharapkan keluar dari anode *grid* tergantung kepada nilai transparansi *grid* dan arah berkas elektron dari plasma. Nilai transparansi *grid* menunjukkan berapa jumlah elektron yang bisa lolos dari *grid* anode. Nilai transparansi tergantung pada jumlah lubang dan ukuran lubang serta ketebalan anoda.

Pengandaian paling sederhana adalah elektron mempunyai arah seragam, dan ketebalan *grid* diabaikan, maka nilai transparansi elektron (*trans*) merupakan hasil kali jumlah lubang ( $N$ ) dengan luas masing-masing lubang ( $a$ ) dibagi oleh luas *gridnya* ( $A$ ), atau direlasikan dengan persamaan :

$$trans = Na/A \quad (17)$$

Sifat-sifat juga menentukan derajat kevakuman antara ruang antara katode dan anode dengan ruang antara anode dengan pompa vakum, karena ukuran *grid* akan menjadi hambatan bagi pompa vakum dalam proses penghampaan, oleh karena itu untuk lebih akurat di dalam mengetahui derajat kevakuman di setiap ruang, diperlukan piranti ukur vakum di setiap ruang plasma. Lama penghampaan ditentukan baik oleh nilai kecepatan penghampaan pompa vakum, saluran vakum dari pompa ke *chamber* plasma, dan sistem *chamber*. Bahan *chamber* juga sebaiknya dipilih yang mempunyai nilai *outgassingnya* rendah (Widdi Usada dkk, 2009: 3).

Salah satu model yang lebih sederhana untuk sumber elektron berbasis plasma adalah tipe diode. Model ini hanya menggunakan satu generator pembentuk plasma. Gambar 3 di bawah ini memperlihatkan skema sumber elektron berbasis plasma untuk tipe diode.



Gambar 3. Skema Sumber Elektron Berbasis Plasma untuk Tipe Dioda

Pada Gambar 3 dapat dijelaskan bahwa sumber elektron berbasis plasma terdiri dari catu daya tegangan tinggi, yang digunakan untuk mengisi kapasitor sumber generator tegangan tinggi yang pada umumnya rangkaian generatoriannya terdiri dari kapasitor ( $C$ ) dan induktor ( $L$ ). Selanjutnya generator tersebut digunakan untuk membentuk plasma dari gas yang berada di dalam *chamber* plasma vakum tipe diode yang sebelumnya divakum oleh sistem pompa vakum. Sebenarnya ada 2 unit piranti pembantu lainnya yaitu yang pertama sistem yang mengatur perlimpahan energi dari generator tegangan tinggi pulsa ke *chamber* plasma, dan yang kedua adalah sistem diagnostik untuk mengetahui parameter fisis sistem sumber elektron seperti arus, tegangan, kerapatan plasma, suhu plasma, dan lebar pulsa. Fungsi generator tegangan

tinggi pulsa ada dua yaitu membentuk plasma dan menarik elektron (Widdi usada dkk, 2009: 3).

#### **4. Spektrometer**

Alat untuk mengukur panjang gelombang secara akurat dengan menggunakan kisi difraksi atau prisma untuk memisahkan panjang gelombang yang berbeda disebut spektrometer (Giancoli, 2001: 305). Jenis spektrometer antara lain adalah spektrometer sinar tampak, spektrometer ultra-ungu, spektrometer infra-merah, spektrometer resonansi magnet inti, spektrometer serapan, spektrometer massa, dan spektrometer fluoresensi. Perbedaan dari jenis spektrometer tersebut terletak pada sumber cahaya atau sampel yang disesuaikan dengan apa yang akan diteliti (Hendayana, 1994: 1).

Berdasarkan sinyal radiasi elektromagnetik, spektroskopi dibagi menjadi empat golongan yaitu spektroskopi absorpsi, spektroskopi emisi, spektroskopi *scattering*, dan spektroskopi fluoresensi. Pada spektroskopi emisi, terdapat beberapa tipe metode spektroskopi berdasarkan sifat radiasinya, yaitu spektroskopi arc spark, plasma argon, emisi atom atau emisi nyala dan emisi sinar-x. Pada tipe spektroskopi emisi atom, atom-atom unsur dalam nyala api akan tereksitasi. Pada waktu atom-atom kembali ke tingkat dasar akan memancarkan radiasi elektromagnetik yang disebut radiasi emisi dimana energi radiasi emisi ini sama dengan energi radiasi eksitasi. Jadi sumber radiasi disini berasal dari sampel. Intensitas radiasi emisi ini kemudian dideteksi oleh detektor setelah melalui monokromator. Radiasi yang diterima monokromator ini

sebelumnya dipilih panjang gelombang yang sesuai dengan mengatur selektor panjang gelombang, dan pada saat yang tepat ada cahaya keluaran yang ditangkap detektor/fotodiode, kemudian sinyal dari fotodiode diteruskan ke osiloskop. Fotodiode yang digunakan sekiranya yang cocok dengan cahaya dari sumber. Sebagai contoh untuk sumber cahaya dari plasma gas isian udara maka terbentuk plasma udara, dan berdasar informasi terdapat panjang gelombang dari 4000 Å sampai dengan 7000 Å, maka fotodiode yang dipilih mempunyai kepekaan pada panjang gelombang tersebut (Hendayana, 1994: 3).

Komponen-komponen pokok spektrometer terdiri dari empat bagian penting yaitu sumber radiasi/cahaya, monokromator, tempat cuplikan (kuvet), dan detektor (Day & Underwood, 2002: 397).

#### **a. Sumber radiasi/cahaya**

Sumber radiasi adalah suatu sumber energi yang memancarkan pancaran radiasi elektromagnetik. Pancaran radiasi berguna untuk memberikan radiasi dengan panjang gelombang atau rentang panjang gelombang tertentu yang akan diserap oleh suatu materi. Ada dua jenis sumber cahaya yaitu sumber cahaya diskontinyu dan sumber cahaya kontinyu.

Sumber cahaya diskontinyu adalah sumber cahaya yang memiliki pancaran radiasi pada panjang gelombang tertentu sesuai bahan sumber yang digunakan (spektrum diskrit), sedangkan sumber cahaya kontinyu merupakan sumber cahaya

dengan pancaran radiasi pada rentang panjang gelombang yang lebih lebar (spektrum kontinyu) (Beiser, 1992: 136).

Sumber cahaya yang ideal untuk pengukuran harus menghasilkan spektrum kontinyu dengan intensitas yang seragam pada rentang panjang gelombangnya (Hardjono, 1985: 39). Spektrum kontinyu sensitif bagi mata kita, dan jatuh pada kisaran 400 nm sampai 750 nm. Kisaran itu dikenal sebagai spektrum tampak, dan di dalamnya terdapat warna-warna dari ungu sampai merah (Fessenden, 2010: 580).

Hubungan warna dengan rentang panjang gelombang dapat dilihat pada Tabel 1.

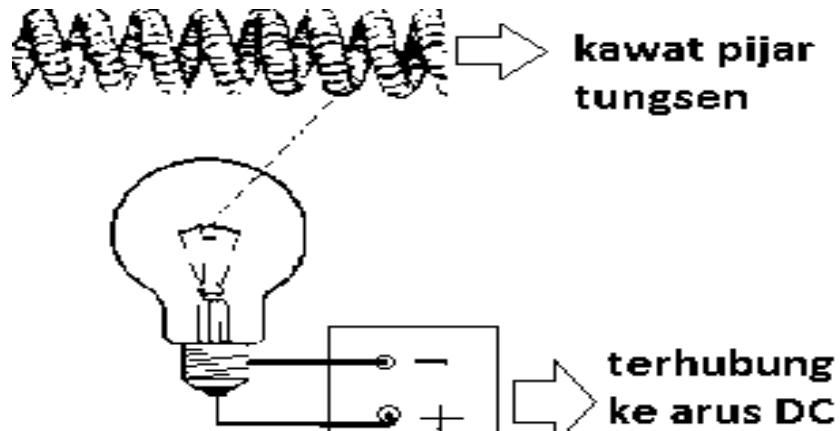
Tabel 1. Hubungan Panjang Gelombang dengan Warna

Panjang Gelombang (nm)	Warna
400-435	Violet
435-480	Biru
480-490	Biru kehijauan
490-500	Hijau kebiruan
500-560	Hijau
560-580	Hijau kekuningann
595-610	Jingga
610-680	Merah
680-700	Ungu Kemerahan

Sumber cahaya tampak yang biasa digunakan adalah lampu yang menggunakan filamen tungsten. Filamen tungsten dipanaskan oleh sumber arus searah (*DC*). Filamen tungsten menghasilkan cahaya yang kontinyu dalam daerah antara 350-2500 nm (Hardjono, 1985: 40). Lampu pijar biasanya berisi filamen tungsten. Filamen

dibungkus dengan kaca dan disertakan di dalamnya campuran gas (umumnya nitrogen, argon dan krypton).

Pada Gambar 4, ketika arus listrik disalurkan pada lampu pijar, maka filamen tungsten akan menjadi panas dan kemudian memendarkan cahaya. Panas pada filamen tungsten mengakibatkan terjadinya penguapan pada lampu pijar. Gas yang terdapat pada sekeliling filamen akan menekan terjadinya penguapan. Semakin besar berat molekul gas maka akan semakin mudah menekan terjadinya penguapan.



Gambar 4. Lampu Pijar dengan Filamen Tungsen

Dalam percobaan kali ini menggunakan sumber radiasi diskontinyu yaitu sumber radiasi/cahaya yang memiliki pancaran radiasi pada panjang gelombang tertentu sesuai bahan sumber yang digunakan (spektrum diskrit). Sumber cahaya yang digunakan adalah sumber cahaya tampak yang berasal dari sumber radiasi plasma pada sumber elektron berbasis plasma yang diisi gas udara. Sumber cahaya ini

adalah sumber cahaya diskrit karena sumber cahaya plasma yang digunakan berkedip kedip dengan intensitas yang tidak seragam.

Plasma sendiri merupakan kumpulan dari atom-atom dan molekul-molekul gas netral, partikel-partikel bermuatan dalam bentuk ion-ion positif, ion-ion negatif dan elektron serta foton. Plasma dibuat dengan cara memanfaatkan tegangan listrik, misal dengan menghadapkan dua buah elektroda di udara bebas, dalam hal ini udara merupakan suatu isolator yaitu materi yang tidak dapat menghantarkan listrik. Pada kedua elektroda dipasang tegangan listrik yang cukup tinggi sehingga sifat konduktor akan muncul pada udara di antara kedua elektroda dan bersamaan dengan itu arus listrik mulai mengalir. Aliran arus listrik ini menunjukkan adanya ionisasi yang mengakibatkan terbentuk ion serta elektron diantara dua elektroda tersebut dengan plasma (Sugiarto dkk, 2000: 55). Karena pengaruh tegangan yang tinggi antar elektroda (katoda dan anoda) maka akan terjadi eksitasi gas pengisi (ada juga yang terionisasi). Ion-ion akan mempunyai energi kinetik yang tinggi sehingga sebagian dari ion negatif akan menuju katoda dengan energi kinetik yang besar yang berakibat lepasnya atom-atom logam pada permukaan katoda di dalam rongga. Pada proses ini dihasilkan suatu kabut atom yang disebut *sputtering*. Sebagian dari kabut atom berada dalam keadaan tereksitasi dan memancarkan radiasi emisi pada waktu atom-atom logam kembali ke permukaan katoda (keadaan dasar) (Sugiarto dkk, 2000: 55).

## **b. Monokromator**

Monokromator merupakan serangkaian alat optik yang berfungsi untuk memisahkan cahaya polikromatis dari sumber cahaya menjadi monokromatis. Bagian utama monokromator dapat berupa prisma atau kisi (*grating*). Prisma dan kisi berfungsi sebagai elemen pendispersi dalam monokromator. Elemen pendispersi adalah elemen yang berfungsi menguraikan radiasi cahaya polikromatis menjadi monokromatis (Day & Underwood, 1986: 399).

Berikut ini akan dijelaskan prinsip kerja monokromator yang menggunakan kisi difraksi sebagai elemennya. Kisi difraksi adalah piranti untuk menghasilkan spektrum menggunakan peristiwa difraksi. Kisi difraksi dibuat dengan membentuk goresan pada suatu bahan tertentu dan berfungsi sebagai sistem banyak celah. Jumlah celah dalam kisi difraksi menentukan kemampuan kisi untuk memisahkan gelombang. Semakin banyak jumlah celah pada kisi, maka kemampuan kisi untuk memisahkan panjang gelombang lebih besar. Jumlah celah pada kisi difraksi untuk daerah cahaya tampak biasanya sekitar 15.000 sampai 3000 garis/inci (Day & Underwood, 1986: 399-400).

Proses difraksi yang terjadi pada sebuah kisi merupakan proses dimana terjadi pembelokan cahaya di sekitar suatu penghalang atau celah. Jika gelombang cahaya hasil difraksi saling berinterferensi dan memiliki fase yang sama, maka akan terbentuk berkas cahaya yang masing-masing mempunyai panjang gelombang yang berbeda (Halliday & Resnick, 2005: 769). Beda lintasan antara dua cahaya difraksi

bergantung pada jarak antara dua celah dalam kisi dan sudut difraksi. Beda lintasan ini sebesar (Young dan Freedman, 2005: 105).

$$n\lambda = d \sin \theta \quad (18)$$

Dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang spektrum cahaya,  $d$  adalah jarak antara dua celah sempit,  $\theta$  adalah sudut difraksi dan  $n$  adalah orde garis spektrum (1,2,3,...) berupa bilangan bulat. Bagian lain dari monokromator selain kisi difraksi adalah celah pemilih berkas cahaya. Cela pemilih berkas cahaya digunakan sebagai tempat keluarnya berkas cahaya dari kisi dan memisahkan panjang gelombang spektra yang diinginkan untuk dilewatkan sampel (Hardjono, 1990: 40). Celah pemilih berkas cahaya diatur pada posisi sesempit mungkin sehingga berkas yang melewati ke sampel membentuk garis yang mendekati satu panjang gelombang (Siregar, 2009: 46).

### c. Kuvet

Kuvet adalah suatu wadah yang berfungsi sebagai tempat cuplikan atau sampel. Sampel dimasukkan ke dalam kuvet dan diletakkan pada posisi di antara monokromator dan detektor dalam spektrometer untuk diukur kadarnya (Day & Underwood, 2002: 402).

Kuvet untuk daerah cahaya tampak umumnya terbuat dari bahan gelas atau kuarsa. Bahan tersebut dibentuk sesuai ukuran tempat dudukan kuvet pada spektrometer. Sampel yang biasa digunakan pada spektrometer untuk plasma adalah

sampel berbentuk plasma. Kuvet yang digunakan untuk meletakkan sampel mempunyai ukuran panjang kuvet tertentu dari 1 hingga 10 cm (Hardjono, 1985: 41).

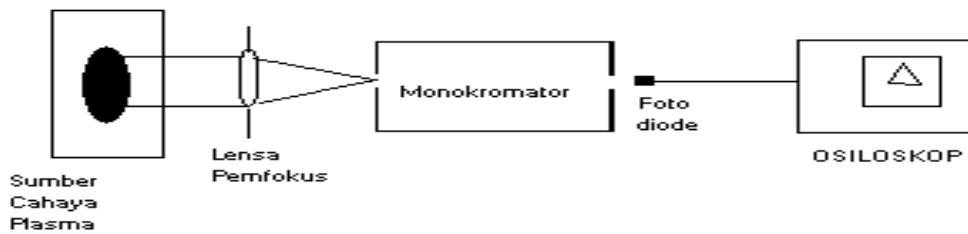
#### **d. Detektor**

Peranan detektor adalah memberikan respon terhadap cahaya yang datang pada berbagai panjang gelombang. Detektor akan mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya akan ditampilkan oleh penampil data dalam bentuk jarum penunjuk atau angka digital (Khopkar, 1990: 89). Detektor menyerap tenaga foton yang mengenainya dan mengubah tenaga tersebut menjadi sinyal listrik untuk dapat diukur secara kuantitatif. Detektor yang baik harus memenuhi persyaratan-persyaratan yaitu sensitivitas tinggi, waktu respon pendek dan stabil. Detektor yang digunakan untuk cahaya tampak disebut dengan detektor fotolistrik (Hardjono, 1985: 42).

Ada beberapa macam detektor yang peka terhadap cahaya dan sering dijumpai di pasaran yaitu LDR (fotoresistor), fototransistor, dan fotodioda. Percobaan kali ini menggunakan fotodioda. Fotodiode yang digunakan sekiranya yang cocok dengan cahaya dari sumber plasma. Sebagai contoh untuk sumber cahaya dari plasma gas isian udara maka terbentuk plasma udara, dan berdasar informasi terdapat panjang gelombang dari 4000 Å sampai dengan 7000 Å, maka fotodiode yang dipilih mempunyai kepekaan pada panjang gelombang tersebut (Hardjono, 1985: 42).

## 5. Prinsip Kerja Spektrometer

Dalam percobaan kali ini sumber cahaya berasal dari panas plasma sehingga prinsip kerja dari spektrometer ini yaitu sumber cahaya pulsa plasma difokuskan oleh lensa pemfokus dan diterima monokromator, kemudian dipilih panjang gelombang yang sesuai dengan mengatur selektor panjang gelombang, dan pada saat yang tepat ada cahaya keluaran yang ditangkap fotodiode kemudian sinyal dari fotodiode diteruskan ke osiloskop. Fotodiode yang digunakan sekiranya yang cocok dengan cahaya dari sumber plasma. Sebagai contoh untuk sumber cahaya dari plasma gas isian udara maka terbentuk plasma udara, dan berdasar informasi terdapat panjang gelombang dari  $4000 \text{ \AA}$  sampai dengan  $7000 \text{ \AA}$ , maka fotodiode yang dipilih mempunyai kepekaan pada panjang gelombang tersebut. Pada Gambar 5 berikut ini disajikan gambar prinsip kerja dari spektrometer tersebut.



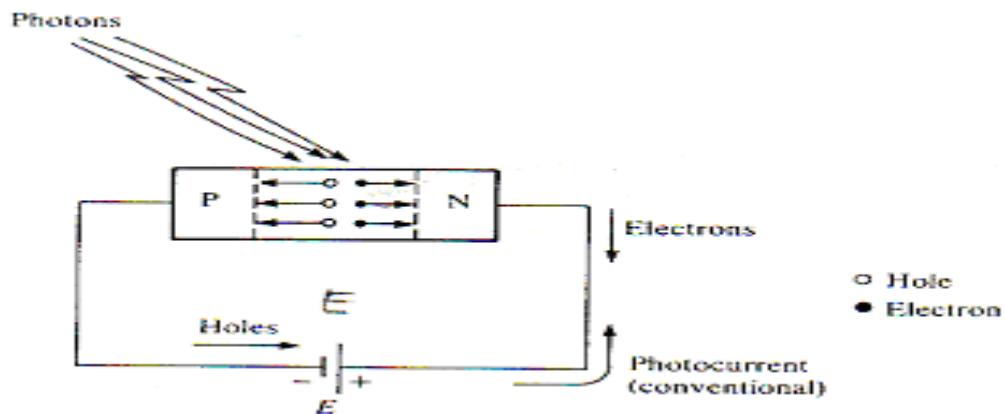
Gambar 5. Prinsip Kerja Spektrometer dengan Sumber Cahaya Plasma

Data yang akan diperoleh adalah adanya relasi antara panjang gelombang dengan intensitas cahaya yang ditunjukkan oleh osiloskop. Kemudian dari data yang

diperoleh tersebut akan dicocokkan dengan data *handbook* (tentang spektrum udara) maka dapat diketahui jenis udara yang diperoleh (Widdi Usada, 2011: 1).

## 6. PIN Photodiode

Salah satu detektor cahaya yang amat populer adalah photodiode/fotodiode, yaitu diode yang dioperasikan pada mode *reverse* dimana daerah deplesinya diinteraksikan dengan energi cahaya. Perlu diingat bahwa diode tanpa tegangan bias memiliki daerah deplesi secara relatif sempit, yaitu daerah dimana muatan bebasnya (elektron atau *hole*) sangat jarang. Dengan memperbesar tegangan bias *reverse* daerah deplesi ini akan membesar. Foton yang datang pada daerah deplesi ini akan menghasilkan pasangan elektron-*hole* (muatan bebas) yang selanjutnya berpindah karena tegangan yang diberikan antara sambungan. Pada Gambar 6. dapat dilukiskan situasi ini (Hardjono, 1985: 44).



Gambar 6. Prinsip Operasi Photodioda

Di dalam daerah deplesi, pasangan elektron dan *hole* bergerak karena tegangan listrik yang diberikan. Perlu diketahui bahwa karena daerah deplesi memiliki resistansi yang amat tinggi, maka pada daerah ini akan terdapat medan listrik  $E$  yang amat besar yang digunakan untuk mempercepat pasangan elektron dan *hole*. Beberapa foton mungkin diserap pada daerah P atau daerah N di luar daerah deplesi. Beberapa elektron mungkin melakukan rekombinasi sehingga menghasilkan arus (*photocurrent*). Sebagai akibatnya daerah deplesi ini perlu diperlebar untuk memungkinkan terjadi absorpsi foton cahaya sebanyak mungkin untuk menghasilkan arus (*photocurrent*) sebesar mungkin. Untuk merealisasikan hal ini, maka dikembangkanlah photodiode dengan struktur PIN Photodiode. Penting dicatat bahwa *photocurrent* (arus yang dihasilkan oleh foton cahaya) memiliki polaritas yang sama sebagaimana arus *reverse* (arus *leakage*) dari photodiode. Oleh karena itu penting untuk menjaga arus *leakage* (*dark current*) ini sekecil mungkin (Hardjono, 1985: 45).

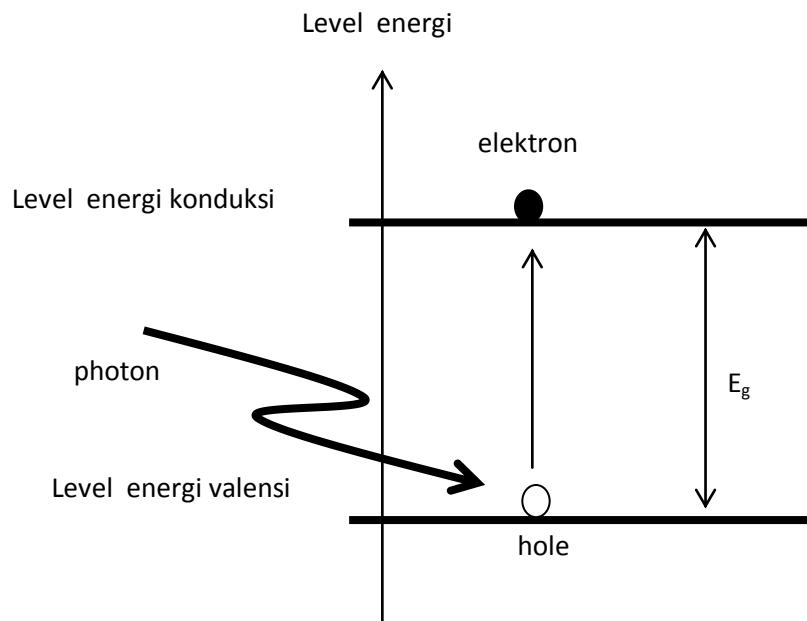
Secara khusus photodiode dapat dipandang sebagai *inverse* dari *light emitting diode* (LED). Di sini yang memadukan ke piranti adalah daya optik dan keluaran dari piranti berupa sinyal listrik. Prinsip operasi dari photodiode ini merupakan fenomena fisika sebagaimana yang terjadi pada LED. Fotodioda menyerap foton cahaya dan menghasilkan elektron, yaitu elektron yang dapat menghasilkan arus listrik.

Untuk mendapatkan hasil yang optimum penggunaan photodiode sebagai transduser, secara khusus untuk aplikasi sistem komunikasi optik.

## 7. Prinsip Pendeksi Cahaya

Agar pendeksi cahaya ini berlangsung secara optimal, maka secara esensial, sebagian besar (bila tidak semua) foton cahaya yang masuk ke dalam piranti harus dikonversi (diubah) menjadi besaran listrik. Masing-masing foton mungkin menyebabkan terjadinya emisi elektron sehingga menjadi elektron bebas. Elektron bebas ini (*hole* bebas) dibangkitkan dengan cara memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi, dan yang tertinggal dalam pita valensi adalah lubang yang lazim dinamakan dengan *hole* bebas (Zeny Muttaq, 2003: 3). Proses terjadinya pasangan elektron-*hole* ini disebut dengan *photogeneration*. Proses ini ditunjukkan pada Gambar 7, dimana foton diserap oleh atom yang menyebabkan sebuah elektron pindah dari level valensi menuju level konduksi. Perubahan energi yang terjadi pada elektron adalah  $E_g$ , yaitu agar peristiwa ini terjadi, maka energi minimal yang dimiliki oleh foton adalah  $E_g$ . Karena energi foton berkaitan dengan frekuensinya (atau panjang gelombang), maka nilai energi gap,  $E_g$  ini menentukan respon daerah spektral detektor cahaya. Energi foton,  $E_p$ , harus lebih besar atau sama dibandingkan dengan energi gap,  $E_g$  (Zeny Muttaq, 2003: 3).

$$E_p \geq E_g$$
$$h \times f \geq E_g \quad (19)$$



Gambar 7. Pembangkitan Pasangan Elektron-Hole

Detektor cahaya ini tidak merespon bila cahaya yang datang memiliki frekuensi lebih kecil dari frekuensi *cut off* ( $f_C$ ) dimana  $f_C$  didefinisikan sebagai:

$$f_C = E_g / h \quad (20)$$

atau panjang gelombang cahaya tidak boleh lebih besar dibanding dengan panjang gelombang *cut off* ( $\lambda_C$ ), dimana  $\lambda_C$  didefinisikan sebagai:

$$\lambda_C = h \times c / E_g \quad (21)$$

Dengan mengkombinasikan beberapa nilai konstanta yang ada pada persamaan 20 dan 21, maka dapat diperoleh:

$$\lambda_c = 1,24 / E_g \quad (22)$$

dimana  $\lambda_c$  bersatuan  $\mu\text{m}$  dan  $E_g$  bersatuan eV. Efisiensi detektor cahaya sering dinyatakan dalam temuan efisiensi kuantum, sebagaimana definisi efisien pada LED, yaitu:

$$\eta_Q = \frac{\text{jumlah elektron bebas yang telah bangkit}}{\text{jumlah photon yang datang}} = \frac{N_e}{N_p} \quad (23)$$

Yang diharapkan untuk nilai  $\eta_Q$  adalah 1, yang berarti bahwa setiap foton cahaya yang diserap oleh detektor akan dihasilkan elektron bebas. Nilai tipikal dari  $\eta_Q$  antara 70 – 80%. Nilai yang lebih praktis untuk menyatakan operasi dari detektor cahaya adalah responsitas,  $R$  (terkadang juga disebut sensitifitas radiasi), yang didefinisikan sebagai nisbah *photocurrent* (arus yang dihasilkan ketika suatu foton cahaya diserap) terhadap daya foton cahaya (Zeny Muttaq, 2003: 4).

$$R = I_p / P_i \quad (24)$$

dimana  $R$  bersatuan ampere per watt (A/W), atau  $\mu\text{A}/\mu\text{W}$ ,  $I_p$  adalah *photocurrent* dan  $P_i$  adalah daya optik cahaya datang. Menjadi penting untuk merelasikan antara  $R$  dan terhadap  $\eta_Q$  dengan terlebih dulu mendefinisikan:

$$I_p = (N_e \times e) / s \quad (25)$$

dimana  $e$  adalah muatan elektron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C) dan  $N_e$  adalah jumlah elektron bebas yang dibangkitkan (Zeny Muttaq, 2003: 5).

$$P_i = (N_p \times E_p) / s \quad (26)$$

dimana  $E_p$  adalah energi foton cahaya,  $N_p$  adalah jumlah foton datang. Dengan mensubstitusi persamaan 25 dan 26 untuk peubah pada persamaan 24, maka diperoleh:

$$R = (N_e \times e) / (N_p \times E_p) = (\eta_Q \times e) / E_p \quad (27)$$

Pernyataan  $(\eta_Q \times e) / E_p$ ,  $E_p$  bersatuan joule. Ini bisa dinyatakan dengan  $R = \eta_Q / E_p$  dimana  $E_p$  bersatuan eV.

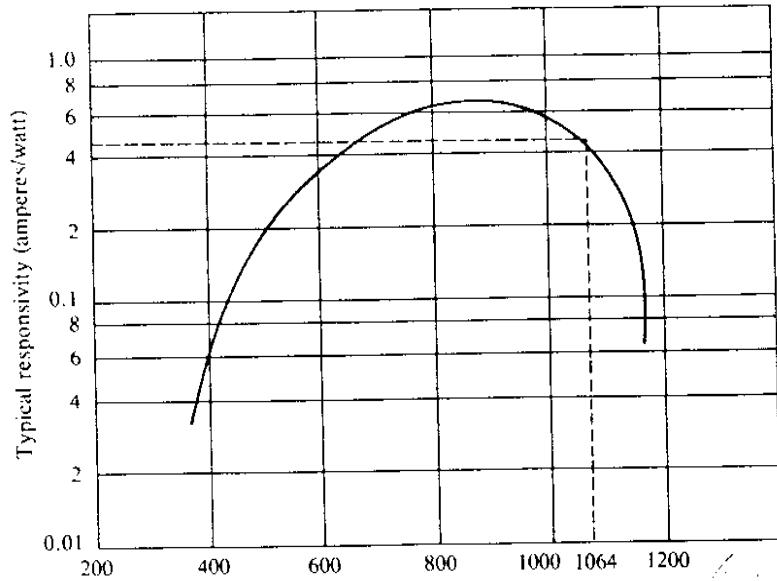
$$R = (\eta_Q \times e) / (h \times f) = \eta_Q (e \times \lambda) / (h \times c) \quad (28)$$

dalam hal ini  $\eta_Q$  adalah nilai fraksi (nisbah, bukan persen),  $\lambda$  dalam meter,  $R$  dalam amper/watt,  $c$  dalam meter/detik, dan  $e$  dalam coulomb. Nilai efisiensi kuantum dan responsifitas, biasanya diberikan untuk panjang gelombang tertentu.

Dengan memasukkan semua konstanta, maka persamaan 28 dapat dinyatakan sebagai:

$$R = (\eta_Q \times \lambda) / 1,24 \quad (29)$$

Dari persamaan (28) dan (29) dapat dijelaskan bahwa nilai responsifitas suatu detektor cahaya dipengaruhi oleh nilai fraksi dan panjang gelombang cahaya. Berkas cahaya datang yang masuk ke dalam daerah tipe P (sambungan PN), akan terlebih dulu mengalami efek pemfilteran oleh bahan. Pada Gambar 8 disajikan hubungan antara responsifitas detektor cahaya dengan panjang gelombang cahaya (Zeny Muttaq, 2003: 6).



Gambar 8. Hubungan antara Responsifitas Detektor Cahaya dengan Panjang Gelombang Cahaya.

## 8. Udara

Udara adalah suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konsisten. Komponen yang konsentrasinya selalu bervariasi adalah  $H_2O$  dan karbondioksida ( $CO_2$ ). Jumlah uap air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan suhu.

Konsentrasi  $CO_2$  di udara selalu rendah, yaitu sekitar 0.03%. konsentrasi  $CO_2$  mungkin naik, tetapi masih dalam kisaran beberapa per seratus persen, misalnya di sekitar proses-proses yang menghasilkan  $CO_2$  seperti pembusukan sampah tanaman, pembakaran, atau di sekitar kumpulan massa manusia di dalam ruangan terbatas, yaitu karena pernafasan. Konsentrasi  $CO_2$  yang relatif rendah dijumpai di atas kebun

atau ladang tanaman yang sedang tumbuh atau di udara yang baru melalui lautan. Kosentrasi yang relatif rendah ini disebabkan oleh absorpsi CO<sub>2</sub> oleh tanaman selama fotosintesis dan karena kelarutan CO<sub>2</sub> di dalam air. Tetapi pengaruh proses-proses tersebut terhadap konsentrasi total CO<sub>2</sub> di udara sangat kecil karena rendahnya konsentrasi CO<sub>2</sub> (Febri Dharma, 2010: 60).

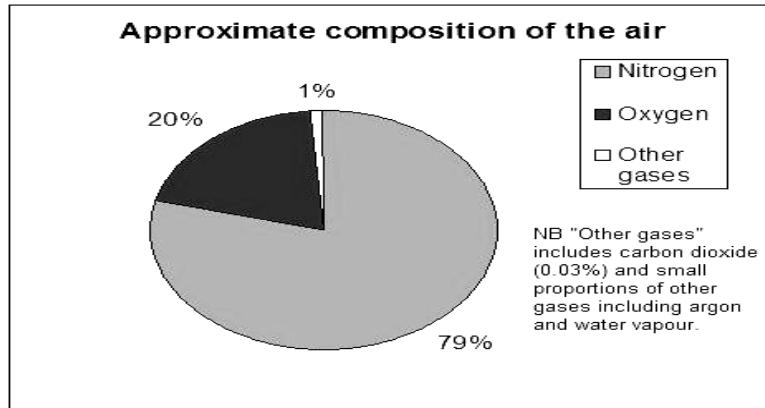
Komposisi udara kering dimana semua uap air telah dihilangkan relatif konstan. Komposisi udara kering yang bersih yang dikumpulkan di sekitar laut dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Komposisi Udara Kering Bersih di Sekitar Laut

<b>Komponen</b>	<b>Formula</b>	<b>Persen Volume</b>	<b>Ppm</b>
Nitrogen	N <sub>2</sub>	78,08	780,800
Oksigen	O <sub>2</sub>	20,95	209,500
Argon	Ar	0,934	9,340
Karbondioksida	CO <sub>2</sub>	0,0314	314
Neon	Ne	0,0018	18
Helium	He	0,000524	5
Metana	CH <sub>4</sub>	0,0002	2
Kripton	Kr	0,000114	1

Udara juga merujuk kepada campuran gas yang terdapat pada permukaan bumi. Pada Gambar 9, komposisi udara bumi yang kering mengandung 78% nitrogen, 21% oksigen, 1% uap air, karbondioksida, dan gas-gas lain. Kandungan (elemen senyawa gas dan partikel) dalam udara akan berubah-ubah dengan ketinggian dari permukaan tanah. Demikian juga massanya, akan berkurang seiring dengan ketinggian, semakin

dekat dengan lapisan troposfer, maka udara semakin tipis, sehingga melewati batas gravitasi bumi, maka udara akan hampa sama sekali.



Gambar 9. Komposisi Udara Bumi yang Kering

## B. Kerangka Berfikir

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui relasi antara daya total cahaya plasma dengan tegangan masukan cahaya dari sumber tegangan masukan hipotronik. Penelitian tentang SEBKP ini menggunakan alat piranti tabung plasma, maka pertama kali harus dilakukan pengecekan alat dan kemudian merangkai alat berupa tabung plasma. Setelah alat selesai dirangkai, kemudian penelitian dilakukan dengan cara menganalisis sumber cahaya yang keluar dari tabung plasma. Dari sumber cahaya tersebut maka cahaya yang keluar difokuskan dengan dua buah lensa cembung dan kemudian masuk ke dalam monokromator. Pada monokromator nilai panjang gelombang ditentukan pada panjang gelombang 4000 Å-7000 Å. Cahaya

keluaran ditangkap oleh fotodiode dan kemudian dihubungkan ke osiloskop untuk menganalisis pulsa cahayanya.

Dari hasil penelitian akan diperoleh data tegangan keluaran cahaya plasma ( $V_i$ ). Dengan dianalisis secara numerik akan diperoleh hasil daya total cahaya plasma ( $P_i$ ) pada masing-masing komponen gas, sedangkan dianalisis secara analitik akan diperoleh hasil grafik hubungan tegangan masukan hipotronik ( $V_0$ ) dengan daya total cahaya plasma ( $P_i$ ) pada masing-masing komponen gas di udara.