

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Agus Purwanto dkk dalam penelitian fabrikasi kaca FTO dengan memvariasikan konsentrasi doping NH_4F , dengan konsentrasi optimal ditetapkan sebagai 8at%. Dan dihasilkan kaca FTO yang menunjukkan resistivitas $21,8 \Omega$ dengan transmitansi rata-rata 81,9%. Ini merupakan angka-angka kelayakan bahwa kaca FTO yang siap digunakan untuk DSSC.

Menurut Hedri Widiyandari dkk dalam penelitiannya tentang fabrikasi kaca FTO dibuat dengan menggunakan metode deposisi *spray*. Larutan yang digunakan $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 0,7 M, kandungan doping NH_4F 8%. Selanjutnya larutan yang telah dibuat diatomisasi dan dideposisi diatas permukaan kaca. Temperatur yang digunakan dalam fabrikasi kaca yaitu 500°C . Hasil penelitian ini diperoleh nilai transmitansi 80% dan didapatkan sheet *resistance* $12 \Omega \cdot \text{cm}$.

Menurut Syuhada dkk Teknik *spray pyrolysis* yang telah digunakan dalam fabrikasi film tipis *Tin oxide* (SnO_2) untuk melapisi silikon yang digunakan sebagai konduktor transparan pada sel surya. Pada penelitian ini menggunakan larutan $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor yang dilarutkan dengan methanol serta H_2O . Kaca preparat dipilih sebagai substrat, lalu gas N_2 digunakan untuk sebagai gas pembawa dan gas reaksi dengan kecepatan aliran $700 \text{ cm}^3/\text{min}$. Lapisan tipis yang dideposisikan pada range temperatur yang bervariasi dari 300°C hingga 370°C , Serta waktu deposisi juga divariasikan mulai dari 5 menit hingga 8 menit. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa film tipis tersebut mempunyai resistivity rendah ($\rho=1.202 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ yang dideposisikan pada suhu 370°C selama 8 menit), serta mempunyai transmiansi cukup tinggi pada setiap daerah panjang gelombang cahaya tampak.

Menurut Agus purwanto dkk untuk memproduksi gelas transparan konduktif, banyak metode yang telah digunakan. Metode *pyrosol* merupakan metode yang populer digunakan karena kesederhanaan sistemnya. Pembuatan lapisan film dilakukan dengan atomizer larutan prekursor dengan *ultrasonik nebulizer* dengan dorongan udara sehingga larutan prekursor menjadi kabut terdorong sampailah terbentuk droplet yang kemudian melepat pada kaca yang telah dipanaskan pada variasi suhu 250°C hingga 420°C . Larutan prekursor terdiri atas $\text{SnCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ didalam aquadest, untuk mencegah *precipitasi* ditambahkan HCl 0,5 N ke dalam larutan. Setelah itu dicampur sempurna baru dikabutkan dengan alat *ultrasonik nebulizer*. Adapun hasil penelitian yang didapatkan suhu optimum substrat kaca adalah 420°C dengan nilai resistivity 20,54 ohm/square.

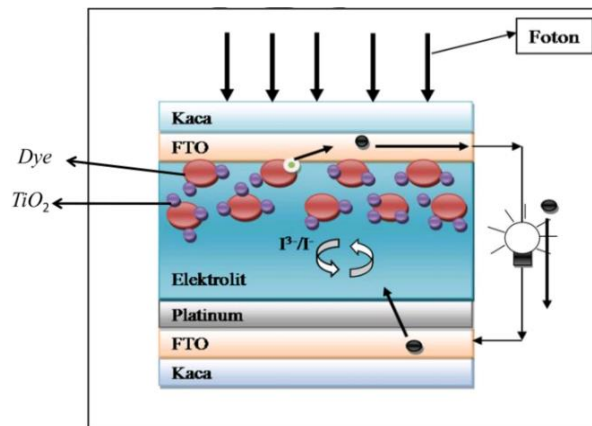
Menurut Arini dkk, 2017 dalam penelitiannya tentang pengaruh waktu demposisi dan temperatur subtrat terhadap fabrikasi kaca konduktif FTO. Metode yang digunakan ialah dengan perpaduan metode *sol-gel* dalam preparasi larutan kaca konduktif dan teknik *untrasonic spray pyrolysis* untuk deposisi *film* tipis FTO. Pada penelitian ini menggunakan bahan *Tin (II) Chloride dihydrate* ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan NH_4F digunakan menjadi doping dengan rasio 6% berat, dengan pemberian variasi temperatur 250°C , 300°C , 350°C , 400°C dan dengan variasi waktu deposisi 5, 20, 30, dan 40 menit. Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa lamanya waktu pendeposisian akan mengakibatkan tebalnya lapisan tipis FTO, sehingga

akan berakibat semakin kecil nilai resistivitas kaca konduktif dan berpengaruh terhadap nilai transmisinya yang semakin kecil. Peningkatan temperatur substrat akan berpengaruh pada meningkatnya lapisan tipis FTO, Akan menjadikan tahanan listrik menurun dan tebalnya lapisan dapat menimbulkan efek buruk pada transparansi optik. Dalam penelitian didapatkan hasil optimal dalam variasi waktu pendeposisian selama 5 menit serta pada temperatur substrat 300°C dihasilkan nilai resistivitas $3,16 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ dan nilai transmisinya 86,74%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sel Surya (DSSC)

Sel surya merupakan salah satu dari sumber energi alternatif yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya yang substrat kacanya terlapis oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang mana ini sebagai fondasi terbentuknya badan dari *Dye sensitized solar cell*. DSSC pertama kali ditemukan oleh seorang professor yang bernama Gratzel pada tahun 1991 (Suyitno dkk, 2014). DSSC merupakan sebuah sel surya terlapis pewarna yang menggunakan elektrolit sebagai sarana perpindahan elektron. DSSC terbagi menjadi beberapa susun bagian seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur susunan bagian *Dye sensitized solar cell* (DSSC) beserta mekanisme kerjanya.

Secara pokok dalam merangkai DSSC terbagi dalam lima bagian yaitu : (1) *kaca transparan konduktif* atau *Transparent Conductive Oxide* (TCO), (2) Semikonduktor, (3) *Dye* ,(4) *elektrolit* ,(5) *katalis counter elektroda*. Dimana substrat kaca memiliki peran sebagai tempat melekatnya semikonduktor dan sebagai jalan dalam lewatnya cahaya matahari. Sampai saat ini material yang digunakan sebagai kaca transparan konduktif paling banyak adalah *fluorine-doped tin oxide* (FTO, karena FTO umumnya lebih resistan secara kimiawi, murah dan ketersediaan bahan baku yang mudah diperoleh (Widiyandari dkk, 2012).

2.2.2 Kaca *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO)

fluorine-doped tin oxide (FTO) merupakan pelapis disubstrat kaca konduktif transparan yang pada umumnya diaplikasikan sebagai substrat semikonduktor pada fabrikasi *Dye sensitized solar cell*(DSSC) (Muliani, 2012). Kaca FTO didapatkan melalui proses kaca yang permukaannya dideposisikan

larutan yang telah diionisasi menggunakan alat *Ultrasonik Nebulizer*. Adapun larutan prekursor dibuat dari bahan $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (98%, Merck Ltd, Germany), dan NH_4F (98%, Merck Ltd, Germany). Larutan dibuat dengan konsentrasi 0,7 M dengan kandungan dopant (NH_4F) 8% dalam etanol 96. (Widiyandari dkk, 2012). Kaca FTO ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Kaca *fluorine-doped tin oxide* (FTO)

Dalam kaca FTO terdapat beberapa hal yang mendasarinya, Diantaranya sebagai berikut:

1) Lapisan Film Tipis

Lapisan film tipis merupakan sebuah lapisan yang terdapat pada sebuah substrat, terdiri dari berbagai bahan metal, organik, anorganik atau pencampuran metal dengan organik. Lapisan film tipis dari berbagai bahan tersebut memiliki sifat-sifat listrik seperti konduktor, semikonduktor, dan isolator. Dalam aplikasinya lapisan film tipis digunakan dalam komponen elektronika seperti transistor, kapasitor, rangkaian hybrid, dan sel surya.

2) Sifat-sifat Lapisan Film Tipis

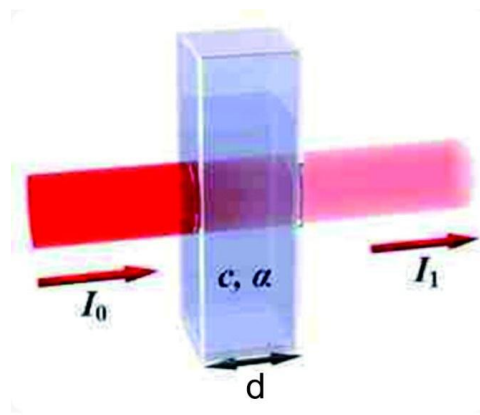
a. Sifat Listrik

- 1) Konduktivitas merupakan suatu kemampuan yang dimiliki benda untuk dapat menghantar aliran listrik. Nilai konduktivitas suatu benda adalah perbandingan antara sifat konduktivitas termal dengan sifat kelistrikan. Nilai konduktivitas dapat dipengaruhi oleh suhu, jadi jika suhu semakin tinggi akan berbanding lurus dengan nilai konduktivitasnya. Logam memiliki kemampuan untuk menghantarkan listrik serta memiliki sifat kepekaan terhadap perubahan-perubahan suhu yang terjadi.
- 2) Resistivitas merupakan suatu kemampuan yang dimiliki suatu benda untuk menahan arus listrik. Nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas. Dimana resistivitas memiliki satuan Ωm .

b. Sifat Optik

- 1) Transmiansi (T) merupakan suatu interaksi yang terjadi ketika suatu sinar/cahaya datang.

- 2) Absorbansi merupakan besarnya sinar/cahaya yang diserap suatu lapisan film tipis dari total sinar/cahaya yang datang melewati. Dalam fabrikasi kaca FTO diperlukan pengujian untuk mengetahui sifat optik lapisan film tipis dengan pengukuran absorpsi sinar/cahaya.



Gambar 2.3 Intensitas cahaya yang masuk setelah melewati sampel (<https://wanibesak.wordpress.com/2011/07/04/pengertian-dasar-spektrofotometer-vis-uv-uv-vis/>)

2.2.3 Elemen-Elemen Dalam Fabrikasi Kaca *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO)

Dalam fabrikasi kaca *fluorine-doped tin oxide* (FTO) tentunya diperlukan bahan-bahan yang mampu menjadikan substrat kaca bisa konduktif serta transparan sebagaimana fungsi dari kaca *fluorine-doped tin oxide* (FTO) itu sendiri, Yang

mana digunakan bahan-bahan , Antara lain : (1) Substrat kaca, (2) SnCl_2 (3) NH_4F , (4) Etanol 99%.

Dari bahan diatas dapat dideskripsikan sebagai berikut :

1. Substrat Kaca

Substrat kaca merupakan sebuah tempat melekatnya bagian-bagian dari elemen DSSC. Dipilih karena kemampuan substrat kaca yang masih mampu bertransparansi terhadap cahaya meskipun telah terlapis oleh zat semikonduktor.

2. SnCl_2

Sn = timah, Cl = klorida, timah (II) klorida merupakan padatan kristal berwarna putih .Larutan kimia yang dapat teroksidasi dengan temperature diatas 300°C , serta memerlukan oksigen sebagai pereaksinya. Pada umum SnCl_2 diaplikasikan sebagai reduktor dalam larutan asam dan larutan electroplating. SnCl_2 terbentuk dari reaksi gas HCl kering dengan logam Sn (Timah).

Adapun sifat dari SnCl_2 seperti berikut :

- a. Densitas : $3,95 \text{ g/cm}^3$ (Anhidrat/Tanpa ada H_2O)
 $2,71 \text{ g/cm}^3$ (Dihidrat)
- b. Melting point : 247°C (Anhidrat/Tanpa ada H_2O)
 $37,7^\circ\text{C}$ (Dihidrat)
- c. Boiling point : 623°C

3. NH_4F

Amonium flourine digunakan sebagai doping dalam fabrikasi kaca FTO. Yang mana senyawa ini berupa kristal putih, dalam fabrikasi kaca FTO berfungsi sebagai penyumbang gugus F pada $\text{SnO}_2\text{:F}$ (Maholkar, 2009). Akan tetapi jika konsentrasi ammonium florida yang terlalu tinggi berakibat pada tingginya nilai resistivitasnya.

Adapun sifat dari NH_4F seperti berikut :

- a. Densitas : $1,009 \text{ g/cm}^3$
- b. Melting point : 100°C

4. Etanol/ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Etanol merupakan cairan yang tak berwarna dengan bau khas serta salah satu bahan yang digunakan dalam fabrikasi kaca FTO. Etanol merupakan larutan yang bersifat inert (tidak bereaksi dengan komponen lain) ini lah yang menjadikan etanol sering digunakan sebagai pelarut. Etanol memiliki titik didih yang rendah yaitu $78,29^\circ\text{C}$ (Sudarmaji, 2007).

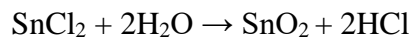
Adapun sifat dari etanol seperti berikut :

- a. Densitas : $0,7893 \text{ g/cm}^3$
- b. Melting point : $-114,14^\circ\text{C}$
- c. Boilling point : $78,29^\circ\text{C}$

2.2.4 Reaksi Kimia Yang Berlangsung

Dalam fabrikasi kaca FTO terjadi reaksi kimia, yang mana reaksi tersebut digambarkan sebagai berikut :

- a. Pembentukan lapisan SnO₂ dari pemisahan senyawa SnCl₂.2H₂O :



- b. Dekomposisi dari NH₄F yang berlangsung sebagai berikut :



- c. $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{F} \rightarrow \text{SnO}_2 \cdot \text{F}$ (*Flourine Tin Oxide*)

Dalam pendeposisian larutan ke substrat kaca, 2H₂O dan NH₄ akan menguap. Karena akibat dari oksidasi menjadi SnO₂.F(*Flourine Tin Oxide*).

2.2.5 Proses Doping Material

Proses doping merupakan proses memperbaiki sifat-sifat material yang didoping dengan menambahkan unsur material tertentu pada material utama. Dalam proses pendopongan pada pembuatan larutan prekursor bertujuan untuk menambahnya atau memperbaiki sifat konduktivitas material utama. Propertis material Tin Chloride yang didoping ammonium fluoride mampu mengalami perubahan seperti peningkatan konduktivitas listrik (Park, M dan Ham, 2015). Berbagai proses pendopongan material telah banyak dilakukan untuk meningkatkan sifat propertis dari suatu material. Namun dalam pendopongan NH₄F dalam SnCl₂.2H₂O haruslah dengan perbandingan yang sesuai, dikarena jika kandungan NH₄F terlalu sedikit akan mengakibatkan gugus F tidak bisa seluruhnya mengisi kisi-kisi kekosongan dalam ikatan atom SnO₂. Begitu pula sebaliknya jika kandungan NH₄F terlalu banyak akan menutupupi ikatan atom SnO₂ yang mana

kedua-duanya berakibat lemahnya nilai konduktivitas listriknya, Maka dari pada itu harus ada perbandingan yang sesuai dalam pendoping. Supaya gugus dapat bisa merapat mengisi kisi-kisi kekosongan dalam ikatan atom SnO_2 agar nilai hambatan listriknya menjadi rendah.

2.2.6 Deskripsi Umum Berbagai Metode Dalam Fabrikasi Kaca FTO

Kaca *fluorine-doped tin oxide* (FTO) dalam fabrikasinya tentu ada berbagai pilihan metode yang dapat digunakan baik secara kimia maupun fisika, antara lain :

a. Metode Secara Kimia

1) Metode Chemical Bath Deposition (CBD)

Merupakan salah satu macam jenis metode deposisi yang lazim digunakan dan banyak dipakai untuk mendapatkan kaca FTO. Selain itu metode CBD merupakan metode dengan cara mencelupkan substrat kaca pada larutan deposisi pada suhu rendah ($25-90^\circ\text{C}$) (Saputra, 2006). Pada dasarnya metode CBD yaitu dengan cara menumbuhkan lapisan semikonduktor berbahan dasar Cu pada substrat kaca, sebelum dilakukan pendoposisian substrat kaca tersebut dibersihkan dengan menggunakan aquades agar terhindar dari debu. Selanjutnya dilakukan mendoposisian larutan lalu diberikan variasi suhu yang berbeda (Oktaviani dan Astuti, 2014).

b. Metode Secara Fisika

1. Metode Vakum Evaporasi

Metode vakum evaporasi adalah suatu metode fabrikasi lapisan tipis dengan menggunakan teknik menguapkan suatu bahan di tempat yang hampa udara. Metode ini adalah bagian dari *Physical Vapor Deposition* (PVD). Persiapan bahan dengan alat preparasi yang lengkap digunakan dalam menguapkan atau menghasilkan suatu hasil preparasi dalam bentuk lapisan film tipis yang menempel pada substrat kaca (Nirwanto, 2007). Dalam metode ini tekanan yang terjadi karena pemanasan akibat arus yang lumayan tinggi, uap akan mendorong atau mendesak keluar uap-uap dari sumber bahan meninggalkan sumber panas dan melapisi substrat kaca akibat proses *kondensasi* yang berlangsung.

2. Metode *Magnetron Sputtering*

Metode *Magnetron Sputtering* adalah suatu metode dimana terjadi pelucutan atom-atom nikel dengan menggunakan gas argon, sehingga atom-atom nikel tersebut terdisosiasi sehingga dapat terdeposisi pada substrat. Plasma argon terjadi akibat adanya beda potensial katoda dan anoda. Untuk menambah efisiensi pelucutan atom nikel (target) yang diakibatkan penumbuhan plasma argon sehingga dapat terdeposisi pada substrat maka dipergunakan *unbalanced magnet* (Lubis dkk, 2009).

Kelebihan dari metode *magnetron sputtering* dapat menghasilkan film tipis dari bahan dengan titik leleh tinggi, ketebalan lapisan dapat dikontrol dengan akurat dan kecepatan deposisi yang tinggi. Langkah kerja dari metode

magnetron sputtering, sebelum dimasukkan kedalam *chamber* substrat dibersihkan terlebih dahulu lalu dikeringkan dengan gas N₂ kemudian disimpan ditempat yang tertutup lalu ditempelkan pada anoda dan bagian yang lain diletakan dibagian katoda dari reaktor *magnetron sputtering*, kemudian suhu anoda dinaikan hingga 100°C maka substrat akan melekat pada katoda, selanjutnya katoda dimasukkan kedalam *chamber* lalu dilakukan pemvakuman dan suhu katoda akan mengalami perubahan menjadi 150°C maka hasil dari film substrat tersebut akan terlihat (Lubis dkk, 2009).

3. Metode Spray Deposition (SPD)

Metode yang mana mendeposisikan larutan deposisi kepermukaan substrat kaca yang telah dipanaskan pada temperatur 500°C. Langkah kerja dari Metode *Spray Deposition* seperti yang pernah dilakukan oleh Widiyandari dkk dalam fabrikasi kaca konduktif transparan (FTO) menggunakan tabung pemanas (*Boxfurnace*). Optimasi terhadap parameter temperatur juga perlu diperhatikan agar mendapatkan hasil yang optimal. Selanjutnya membuat larutan prekursor yang kemudian dimasukkan kedalam wadah *Ultrasonic Nebulizer* untuk diatomisakan. Selanjutnya dalam fabrikasi kaca FTO, Droplet yang dihasilkan lalu dideposisikan kepermukaan substrat kaca yang telah dipanaskan dengan mengatur temperatur deposisinya (Widiyandari dkk, 2012).

4. Metode Sintering & Ionisasi larutan

Kaca yang dihasilkan pada temperatur ruangan belum memiliki ikatan atom yang memadai, maka dari itu diperlukan proses pemanasan dan ionisasi larutan agar kaca dapat berkonduktif. Pada proses sintering akan terjadi pembukaan pori-pori lapisan kaca dan butiran-butiran atom akan melebur. Lalu larutan yang terdeposisi ke lapisan kaca akan terjadi proses ionisasi larutan, proses tersebut akan terjadi perubahan pada muatan atom yang mengalami penambahan atau pengurangan elektron dari atom yang melebur. Jika atom tersebut saat melebur menangkap sejumlah elektron dari atom lain, maka atom akan bermuatan negatif dan apabila atom tersebut saat melebur melepaskan sejumlah elektron yang dimilikinya, maka atom tersebut bermuatan akan positif. Jadi proses ionisasi ini akan mengakibatkan kaca dapat menghantarkan arus listrik. Proses sintering dilakukan menggunakan tungku listrik (*heater*) yang diprogram sesuai dengan perlakuan suhu panas yang tidak sampai melampaui titik leleh substrat sempelnya. Temperatur sintering akan mempengaruhi hasil akhir sifat mekanik dari pembuatan kaca konduktif FTO.

2.2.7 Perhitungan Konsentrasi Larutan (Molaritas)

Molaritas (M)

$$M = \frac{g}{Mr} \times \frac{1.000}{mL}$$

Keterangan :

M : Molaritas

g : Masa zat terlarut (gram)

Mr : Masa relative zat terlarut

mL : Volume larutan (ml)

Persentase (%)

Nilai Persen = (Nilai Persen) x (Nilai Pecahan) : (100)

2.2.8 Oksidasi

Merupakan reaksi pengikatan oksigen. Yang mana oksigen adalah bagian dari sistem tabel periodic yang mempunyai lambing O dan nomer atom 8. Oksigen merupakan senyawa gas dengan rumus O₂ yang tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau. Unsurnya dialam yang sangat melimpah.

2.2.9 Uji Karakteristik Kaca *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO)

Dalam pengujian karakteristik kaca *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO) digunakanlah dua metode pengujian untuk mengetahui nilai resistivitas dan transmiansi dari kaca FTO yang telah dibuat, yaitu :

- a. Uji *Four Point Probe*

Dalam pengujian *Four Point Probe* bertujuan untuk mengukur atau mengetahui nilai resistivitas dari suatu bahan semikonduktor. Resistivitas merupakan besaran resiprok (kebalikan) dari konduktivitas berubah nilainya hampir secara linier terhadap temperatur antara 20°C-30°C (Sudaryanto, S.N., 2012).

Dalam mekanisme kerja *Four Point Probe* yaitu dengan empat titik kontak berderet serta garis lurus dan jarak sama yang diletakan dipermukaan sampel, lalu arus listrik konstan dialirkan ke sepanjang permukaan sampel melalui probe terluar dan jika terdapat penurunan tegangan berarti mempunyai resistansi. Dua probe bagian terluar akan mengukur besarnya perubahan tegangan (Wari, 2012).

Untuk sampel kaca transparan FTO ini dimana sampel memiliki ketebalan $t > s$ (jarak antara *point probe*), sehingga untuk perhitungan resistivitas sampel :

$$\rho = 2 \pi s \left(\frac{V}{I} \right)$$

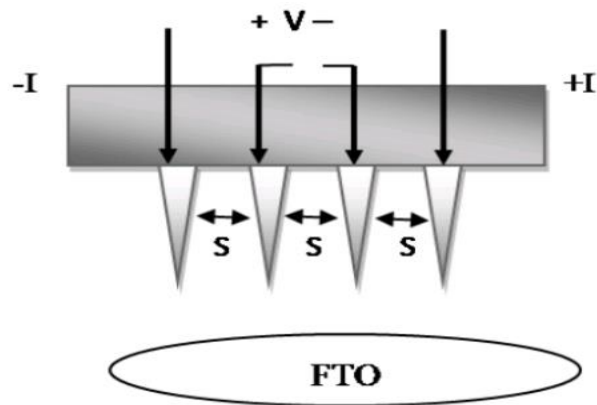
Keterangan : ρ = resistivitas sampel (Ω cm)

s = jarak *four point probe* (cm)

V = beda potensial (V)

I = kuat arus (A) (Ari adi dkk, 2004)

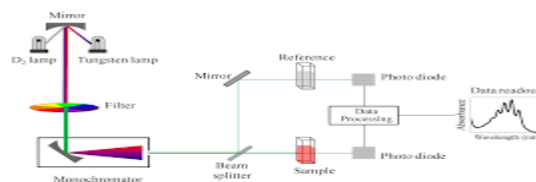
Sedangkan skematis *Four Point Probe* ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.4. Skema mekanisme kerja *Four Point Probe*.

b. Uji *Transmitansi*

Uji UV-Vis merupakan suatu cara dalam mengidentifikasi struktur dari elektronik molekul atau spektrokopi elektronik (Ningsih, 2009). Alat ini digunakan untuk menguji kaca FTO, karena pada saat fabrikasi kaca FTO menggunakan larutan semikonduktor yang dideposisikan menyebabkan substrat kaca menjadi lebih kurang transparan. Yang mana pengujian ini bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang (λ) dan nilai absorbansi (A), dengan cara menembakan sinar ultraviolet (UV) pada substrat kaca (Nafi dan Susanti, 2013).



Gambar 2.5 skema mekanisme UV-vis spectrophotometer.

(<http://jasakalibrasi.net/spektrofotometer-uv-vis/>)

Gambar 2.4 menunjukkan skema mekanisme dari suatu UV-vis spektrofotometer. Cahaya yang berasal dari sinar lampu deuterium atau wolfram yang memiliki sifat polikromatis yang di teruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator lalu akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Cahaya dengan panjang tertentu kemudian di lewatkan menuju sampel yang mengandung suatu zat dengan konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diabsorpsi) dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian di terima oleh detektor. Detektor kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel.