

BAB III DASAR TEORI

3.1 Bayam merah (*Amaranthus tricolor L.*)

Bayam merah (*Amaranthus tricolor L.*) merupakan famili Amaranthaceae yang memiliki kandungan vitamin, niacin, mineral (kalsium, mangan, fosfor dan zat besi), serat, karotenoid, klorofil, alkaloid, flavonoid, saponin pada daun serta polifenol pada batang. (Pradana.,dkk 2017). Tanaman bayam merah memiliki ciri berdaun tunggal, ujungnya meruncing, lunak, dan lebar. Batangnya lunak dan berwarna putih kemerah-merahan. Bunga bayam merah ukurannya kecil mungil dari ketiak daun dan ujung batang pada rangkaian tandan. Buahnya tidak berdaging, tetapi bijinya banyak, sangat kecil, bulat, dan mudah pecah. Tanaman ini memiliki akar tunggang dan berakar samping. Akar sampingnya kuat dan agak dalam. Tanaman ini berbentuk perdu atau semak. Bayam merah memiliki banyak manfaat karena mengandung vitamin A dan C, sedikit vitamin B, kalsium, fospor, dan besi (Sunarjono, 2014). Bayam merah mengandung senyawa fenolik dari berbagai macam metabolit sekunder. Senyawa fenolik memiliki satu cincin aromatik (C6) dengan satu atau lebih gugus hidroksil. Flavonoid adalah senyawa fenolik yang banyak terdapat di bayam merah. Flavonoid memiliki sifat antioksidan karena terdapat kecenderungan yang kuat dalam mereduksi logam, serta memiliki kemampuan mengkelat karena adanya nukleofilik tinggi dari cincin aromatik (Michalak, 2006).

Menurut klasifikasi dalam tata nama (sistematika) tanaman bayam merah dikelompokan sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Sub Kelas	: <i>Hamamelidae</i>
Ordo	: <i>Caryophyllales</i>

Famili : *Amaranthaceae*
Genus : *Amaranthus*
Spesies : *Amaranthus tricolor L.* (Saparinto, 2013).



Gambar 1. Tanaman Bayam Merah

3.2 Katalis Nanopartikel SnO₂

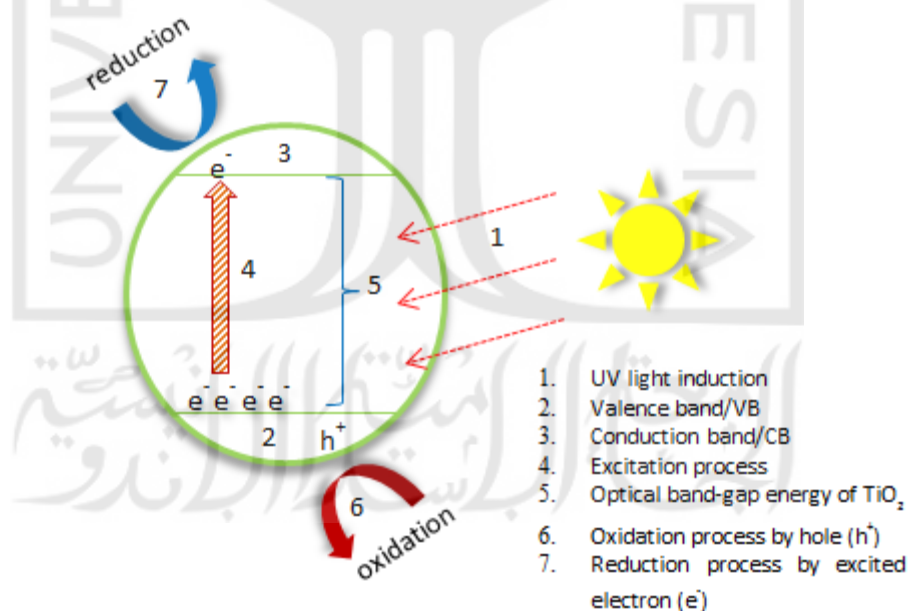
SnO₂ (*Tin Oxide*) yang secara alami berwarna putih dan berwujud cairan ionik dan sering digunakan sebagai pigmen dalam cat dan keramik. Beberapa keunggulan yang dimilikinya, diantaranya: memiliki sifat optik yang baik, tidak beracun, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik, semikonduktor dengan bandgap yang kecil, memiliki permukaan yang luas, stabilitas mekanik dan termal yang tinggi, stabilitas fisikokimia yang tinggi, daya adsorpsi yang tinggi, dan ramah lingkungan . Secara umum, SnO₂ sering ditemui dalam bentuk struktur rutile. SnO₂ berpotensi sebagai fotokatalis sinar UV. (Sucahya., dkk, 2016)

SnO₂ merupakan bahan semikonduktor tipe-n dengan lebar celah energi lebar, yaitu lebih besar dari 3,6 eV . SnO₂ memiliki struktur kristal tetragonal dan bersifat nonpolar dengan parameter kisi $a = 4,738 \text{ \AA}$ dan $c = 3,188 \text{ \AA}$. (Maddu., dkk 2009).

3.3 Fotokatalis

Fotokatalisis adalah reaksi perpaduan antara fotokimia dan katalis. Proses reaksi fotokimia melibatkan suatu cahaya (foto). Fotokatalisis sendiri adalah suatu proses yang dibantu oleh adanya cahaya dan material katalis. Katalis adalah suatu zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia. Katalis dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi atau dengan fotoproduk utamanya, tergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut.

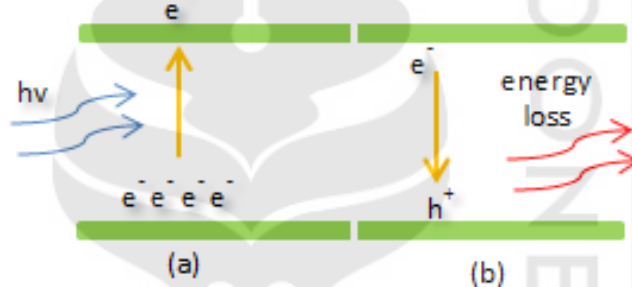
Material fotokatalis atau semikonduktor merupakan salah satu material yang memanfaatkan proses fotokatalisis yakni suatu proses kombinasi antara fotokimia dan katalisis. Hal ini merupakan proses transformasi kimiawi yang melibatkan bantuan foton atau sinar sebagai pemicu dan pemercepat berlangsungnya proses transformasi tersebut. Proses ini memiliki kemiripan dengan proses yang terjadi pada tumbuhan yakni mekanisme fotosintesis. Salah satu material fotokatalis yaitu SnO_2 . (Luo,2015)



Gambar 2. Ilustrasi material fotokatalis

Mekanisme fotokatalisis secara sederhana diilustrasikan pada **Gambar 2** Semikonduktor bertipe-n (*electron donation*) apabila dikenai sinar atau foton (1)

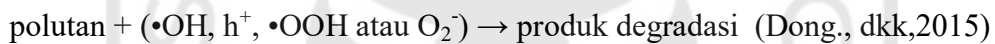
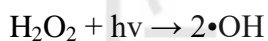
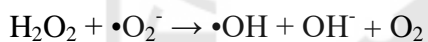
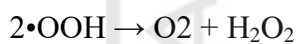
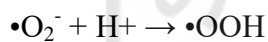
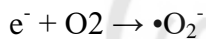
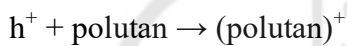
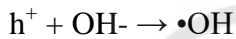
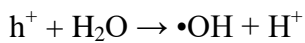
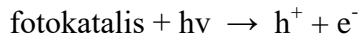
sesuai atau melebihi energi celah pita material fotokatalis (5), maka elektron akan tereksitasi (4) dari keadaan dasar (2) atau *ground state* (*valence band*/pita valensi) ke tingkatan energi yang lebih tinggi (3) atau *excited state* (*conduction band*/pita konduksi) menghasilkan hole (h^+). Dalam tahap ini energi celah pita atau *band gap energy* menunjukkan panjang gelombang dari sinar yang efektif terserap pada material fotokatalis. Setelah elektron dan hole terpisah, sebagian besar elektron dan hole ini akan berinteraksi kembali di permukaan atau *bulk particle* atau yang disebut dengan efek rekombinasi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Masing-masing baik elektron atau *hole* akan mengalami proses reduksi (7) dan oksidasi (6) ke substrat. (Arutanti., dkk, 2009)



Gambar 3. Ilustrasi (a) elektron tereksitasi dan (b) rekombinasi

Mekanisme reduksi dan oksidasi (*redox mechanism*) melalui terbentuknya *hole* dan elektron dimanfaatkan dalam proses degradasi substrat yang bersinggungan dengan permukaan fotokatalis. Baik elektron atau *hole* mampu menghasilkan ion reaktif yang dapat dimanfaatkan dalam proses dekontaminasi dan penguraian kontaminan atau mikroorganisme merugikan. Elektron dalam hal ini akan berinteraksi dengan udara atau oksigen (O_2) menghasilkan radikal superoksida ($\bullet O_2^-$), sedangkan hole dapat berinteraksi dengan molekul air (H_2O) membentuk radikal aktif hidroksil ($OH\bullet$) dan H_2O^+ . Radikal-radikal ini akan terus dapat dihasilkan selama material fotokatalis diinduksi oleh sinar atau foton dan akan menguraikan senyawa organik menjadi molekul-molekul kecil seperti CO_2 , H_2O dan asam mineral. (Dong., dkk, 2015)

Proses pembentukan radikal aktif oleh material fotokatalis secara umum dapat ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut :



3.4 Fotooksidasi

H_2O_2 (Hidrogen Peroksida) merupakan salah satu fotokatalis semikonduktor yang sering digunakan di dalam proses fotodegradasi. (Budiman dkk.,2013). H_2O_2 dalam proses fotodegradasi limbah zat warna berperan sebagai oksidator dan menghasilkan radikal hidroksil ketika terkena paparan radikal sinar UV. Radikal yang dihasilkan oleh H_2O_2 dapat meningkatkan presentase degradasi zat warna. (Tejo dan Imelda., 2017)

3.5 Fotodegradasi

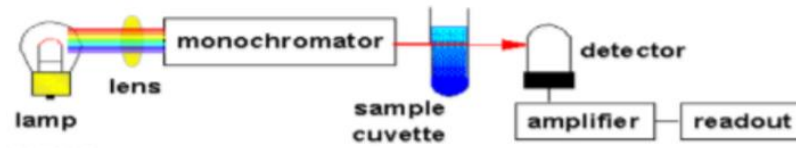
Fotodegradasi adalah suatu proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Prinsipnya adalah loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya *hole* (lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut air membentuk radikal.

3.5 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometri adalah suatu metode analisa yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu lajur larutan berwarna pada panjang gelombang spesifik dengan menggunakan monokromator prisma atau kisi difraksi dengan *detector fototube*. Spektrofotometer merupakan alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Pengukuran dengan spektrofotometer ini menggunakan metode spektrofotometri.

Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat dengan teknik spektrofotometer pada daerah ultra violet dan sinar tampak. Alat ini digunakan untuk mengukur serapan sinar ultra violet atau sinar tampak oleh suatu materi dalam bentuk larutan dan dapat menganalisa secara kualitatif dan kuantitatif. Konsentrasi larutan yang dianalisis sebanding dengan jumlah sinar yang diserap oleh zat yang terdapat dalam larutan tersebut. Panjang gelombang sinar UV-Vis jauh lebih pendek daripada panjang gelombang radiasi inframerah. Spektrum sinar tampak terentang dari sekitar 400 nm-750 nm, sedangkan spectrum ultra violet terentang dari 100 nm-400 nm (Khopkar, 1990).

Prinsip kerja dari spektrofotometer yaitu dimulai dihasilkannya cahaya monokromatik dari sumber sinar. Cahaya tersebut kemudian menuju ke kuvet (tempat sampel/sel). Banyaknya cahaya yang diteruskan maupun yang diserap oleh larutan akan dibaca oleh detektor yang kemudian menyampaikan ke layar pembaca. Spektrofotometer UV-Vis adalah penyerapan sinar tampak untuk ultra violet dengan suatu molekul dapat menyebabkan terjadinya eksitasi molekul dari tingkat energi dasar (*ground state*) ke tingkat energi yang paling tinggi (*excited stated*). Pengabsorbsian sinar ultra violet atau sinar tampak oleh suatu molekul umumnya menghasilkan eksitasi elektron bonding, akibatnya panjang absorpsi maksimum dapat dikolerasikan dengan jenis ikatan yang ada didalam molekul. (Hendayana, 1994)



Gambar 4. Prinsip Kerja Spektrofotometer UV-Vis

3.6 XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD adalah instrumen menggunakan sinar X yang terdifraksi dan dibentuk oleh atom-atom kristal dari suatu material. Sehingga timbul sudut dan pola difraksi yang menjelaskan sebuah karakteristik material yang diuji dengan melihat perbandingan antara hasil uji dan data base internasional. XRD berfungsi untuk mengidentifikasi fasa kristalin pada material yang berbentuk padatan maupun serbuk dan untuk analisis sifat-sifat material pada setiap fasa.

Pada instrumen XRD, ketika sinar X menembak sampel uji, energi yang ditembakkan oleh sinar X sangat besar sehingga dapat menembus sampel uji dan mendifraksi sinar tersebut ke seluruh arah pergerakan sinar memenuhi hukum bragg. Kemudian detektor bergerak sesuai dengan kecepatan sudut konstan untuk mendeteksi berkas cahaya sinar X dari sampel. Setiap bidang kisi memiliki beberapa sudut masing-masing dan memenuhi hukum bragg :

$$n\lambda = 2d \sin\theta \dots\dots\dots(1.1)$$

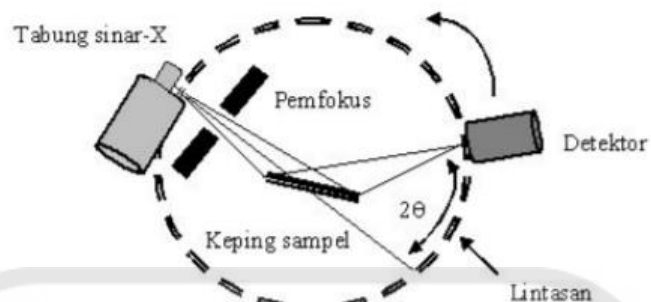
Dengan,

n : orde difraksi (1,2,3,4,5,...)

λ : panjang sinar X

d : jarak kisi

θ : Sudut difraksi



Gambar 5. Skema instrumen XRD

Prinsip dari instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan difraksi sinar X yang mengalami *scattering* setelah saling bertumbukan dengan atom kristal. Pola difraksi yang dihasilkan menjelaskan struktur kristal uji setelah dibandingkan dengan parameter uji dapat ditentukan ukuran material, parameter kisi material, serta ukuran partikel kristal. (Riyanto,2009)

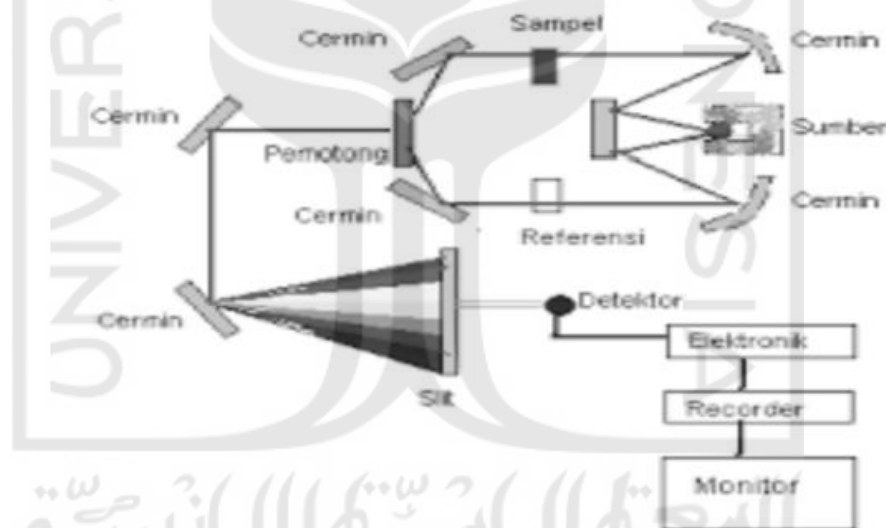
3.7 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Spektrofotometer FTIR merupakan instrumen yang dapat mengidentifikasi senyawa organik secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis senyawa kualitatif dilakukan dengan melihat bentuk puncak spesifik spektrum pada panjang gelombang tertentu dan dibandingkan pada referensi untuk membuktikan gugus fungsi yang dihasilkan setiap puncaknya. Sedangkan analisis kuantitatif dilakukan dengan membandingkan senyawa standar dengan variasi konsentrasi.

Jumlah energi yang diperlukan untuk meregangkan suatu ikatan tergantung pada tegangan ikatan dan massa atom yang terikat. Ikatan antar atom yang kuat membutuhkan energy yang besar untuk meregangkan suatu ikatan tersebut. Untuk vibrasi terjadi sebaliknya apabila atom berat maka terjadi frekuensi vibrasi yang rendah (Bruice, 2001).

Pancaran inframerah pada spektrum elektromagnetik terletak diantara bagian tampak dan bagian gelombang mikro. Kegunaannya sebagian besar dibatasi pada daerah antara bilangan gelombang 4000 cm^{-1} dan 666 cm^{-1} . Akhir-akhir ini muncul perhatian pada daerah inframerah dekat, pada bilangan

gelombang 14.290-4000 cm^{-1} dan daerah inframerah jauh pada bilangan gelombang 700-200 cm^{-1} . Prinsip FTIR adalah mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan 34 terhadap senyawa tersebut (Sjahfirdi dkk, 2015). Padatan diuji dengan cara merefleksikan sinar inframerah yang melalui tempat kristal sehingga terjadi kontak dengan permukaan cuplikan. Degradasi atau induksi oleh oksidasi, panas, maupun cahaya, dapat diikuti dengan cepat melalui inframerah. Prinsip kerja FTIR berupa infrared yang melewati celah kesampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel. Kemudian beberapa infrared diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infrared lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke computer.



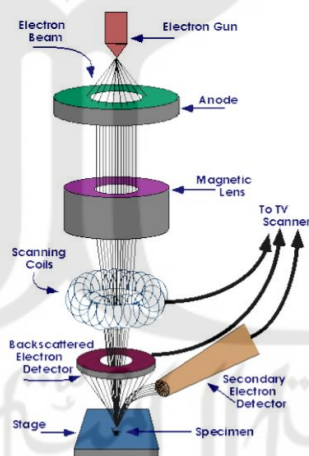
Gambar 6. Skema FTIR

3.8 SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope Energi Dispersive X-Ray*)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan instrumen yang berfungsi untuk mengetahui permukaan morfologi suatu sampel uji mikro dari suatu material. Energy Dispersive X-ray (EDX) merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang

dianalisis. Metode SEM merupakan deteksi dan analisa permukaan dengan ketebalan lapisan sebesar $20\ \mu\text{m}$ dari atas permukaan sampel. Hasil dari metode ini berupa topografi yang memiliki perbedaan warna dan bentuk yang dihasilkan.

Prinsip kerja dari SEM yaitu pemindaian berkas elektron yang disinari oleh *electron gun* seperti *scanning* permukaan specimen, *scanning* dilakukan disetiap titik sehingga membentuk suatu garis pembacaan. Sinyal eketron sekunder dihasilkan pada titik permukaan dan kemudian sinyal tersebut ditangkap dan dibaca oleh detektor kemudianditampilkan pada layar CRT. Sedangkan sinyal yang ditangkap pada back scattered electron ditangkap sesuai dengan nomor atom yang ada pada permukaan specimen sehingga gambar yang didapatkan berbeda-beda seusai dengan perbedaan unsur kimianya. Warna terang menunjukkan adanya unsur kimia yang lebih tinggi nomor atomnya. SEM dilengkapi dengan EDX dimana sinar-X yang diemisikan adalah hasil tumbukan elektron pada atom-atom sampel uji (Sujaatno, 2015).

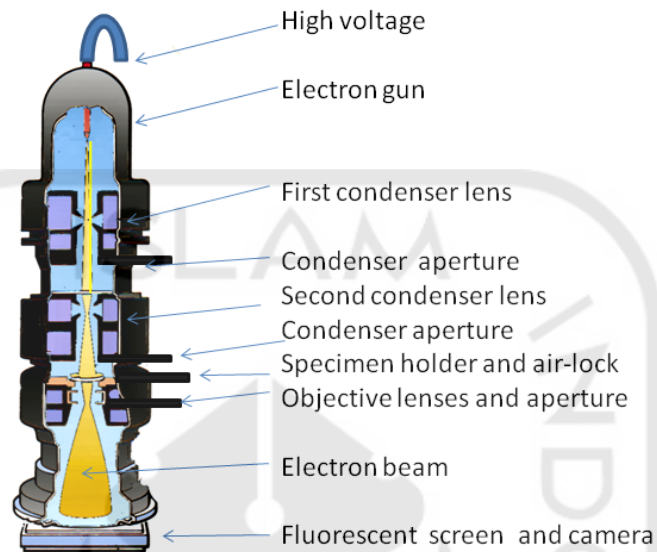


Gambar 7. Mekanisme SEM-EDX

3.9 TEM (*Transmission Electron Microscopy*)

TEM merupakan teknik mikroskopis dimana sejumlah elektron ditransmisikan melalui spesimen tipis dan berinteraksi dengan spesimen yang di melewati. Gambar terbentuk dari interaksi elektron yang ditransmisikan melalui

spesimen. Gambar diperbesar dan difokuskan ke perangkat visual , seperti layar fluoresen atau yang akan dideteksi oleh sensor seperti kamera CCD.



Transmission Electron Microscope

Gambar 8. Bagian-bagian Instrumen TEM

Prinsip kerja dari TEM secara singkat adalah sinar elektron mengiluminasi spesimen dan menghasilkan sebuah gambar diatas layar pospor. Gambar dilihat sebagai sebuah proyeksi dari spesimen. Adapun prinsip kerja dari bagian-bagian TEM adalah sebagai berikut:

1. *Electron source* :Menghasilkan elektron monokromatik.
2. *Condensor ions* :Memfokuskan berkas elektron.
3. *Condensor aperture* :Mengurangi intensitas sinar dengan menyaring elektron dari beam.
4. *Objective lens* : Memfokuskan berkas.
5. *Objective aperture* :Meningkatkan Kontras dengan menghalangi difraksi elektron.
6. *Projector lens* :Memperbesar gambar.
7. *Screen* :Melihat hasil gambar. (William, 2009)

3.10 DR-UV (*Diffuse Reflektansi Ultraviolet Visible*)

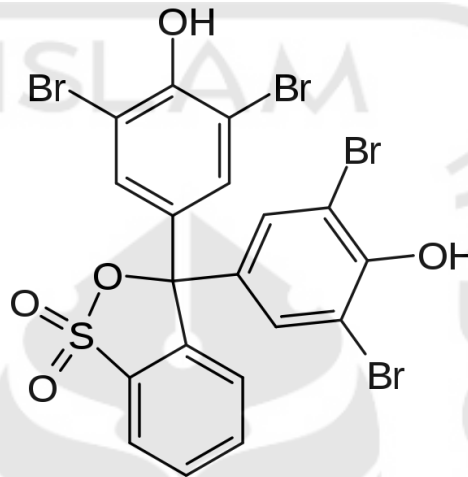
Instrumen DR UV merupakan instrumen yang berfungsi untuk mengetahui energi band gap yang dihasilkan oleh suatu material dengan menghitung hasil dari %R dan absorbansinya. Pengukuran hasil energi band gap berdasarkan pada intensitas sinar UV dan Visible yang direfleksikan oleh suatu material uji. Prinsip dari instrumen DR UV berdasarkan pada lapisan material yang diradiasikan oleh beberapa foton dan kemudian material menyerapnya atau menghamburkan foton. Teori ini didasari oleh teori Kulbelka-Munk,

3.11 *Bromophenol Blue*

Bromophenol blue (3',3'',5',5''-tetrabromophenolsulfonphthalein, BPB, albutest) merupakan pewarna anion *phenolphthalein* berbentuk serbuk oranye dengan berat molekul 669.96 g/mol. *Bromophenol blue* mudah larut dalam NaOH, alkohol, benzena, asam asetat dan sedikit larut dalam air. *Bromophenol blue* memiliki panjang gelombang maksimal sebesar 592 nm dan banyak digunakan sebagai zat pewarna. Perbedaan pH pada bromophenol blue akan mempengaruhi penyerapan warna yang terjadi. Pada pH netral, pewarna menyerap cahaya merah paling kuat dan mentransmisikan cahaya biru. Pada pH rendah, pewarna menyerap sinar ultraviolet dan biru paling kuat dan tampak berwarna kuning dalam larutan. Pada pH 3,6 dapat larut di dalam air tanpa penyesuaian pH. *Bromophenol blue* memiliki warna merah kehijauan yang akan berubah warna menjadi lebih terang dikarenakan terjadinya pergeseran warna atau yang sering disebut dengan warna dikromatik. *Bromophenol blue* merupakan zat yang memiliki nilai indeks dikromatisasi kreft dikarenakan memiliki perubahan rona warna terbesar, ketika konsentrasi sampel yang diamati meningkat atau menurun. (Kreft,2017)

Selain itu bromophenol blue memiliki fungsi lain yaitu sebagai indikator asam-basa, rentang manfaatnya terletak antara pH 3.0 dan 4.6. Ia berubah dari kuning pada pH 3,0 menjadi biru pada pH 4,6; Reaksi ini reversibel. *Bromophenol blue* secara struktural terkait dengan *phenolphthalein* (indikator populer). *Bromophenol blue* juga digunakan sebagai penanda warna untuk memantau

proses elektroforesis gel agarosa dan elektroforesis gel poliakrilamida. Karena *bromophenol blue* membawa muatan sedikit negatif pada pH sedang, ia akan bermigrasi ke arah yang sama dengan DNA dikarenakan DNA dan *bromophenol blue* sebagai pewarna pelacak dapat menyerap sinar UV.



Gambar 9. Struktur *Bromophenol Blu*

