

## **BAB II**

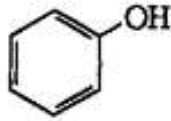
### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Fenol**

Fenol adalah suatu rangkaian senyawa homolog yang mengandung gugus hidroksil yang terikat langsung pada cincin aromatik. Fenol berada dalam golongan senyawa alkohol karena adanya kelompok OH yang sebenarnya adalah golongan senyawa aromatik yang paling sederhana dari golongan ini. Gugus hidroksil pada fenol menentukan keasaman dari fenol sedangkan cincin benzena menentukan kebasaan dari fenol. Senyawa fenol memiliki nilai pKa sebesar 9,94 meskipun nilai ini juga bervariasi, dalam sumber-sumber yang berbeda dari 9,89 ke 9,95 [13]. Fenol mempunyai sifat yang cenderung asam, yaitu melepaskan ion  $H^+$  dari gugus hidroksilnya, dimana hal ini dibuktikan dengan reaksi fenol dengan NaOH. Fenol merupakan senyawa yang bersifat toksik dan menimbulkan bau yang tidak sedap sehingga menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia [2].

Senyawa fenol dapat menyebabkan keracunan sistematis. Senyawa fenol berbahaya karena terdegradasi sangat lambat oleh cahaya matahari. Apabila terkena kulit akan menyebabkan iritasi pada kulit [4]. Kontaminasi fenol dengan air dapat menyebabkan masalah yang serius karena fenol bersifat karsinogenik dan memiliki tingkat toksisitas yang tinggi. Gejala lain dari fenol bagi kesehatan dapat menyebabkan kerusakan hati, anemia hemolitik, kelumpuhan dan kerusakan yang lebih parah dalam organ tubuh manusia [6]. Limbah fenol tergolong dalam limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun). Berdasarkan keputusan Menteri lingkungan hidup Nomor Kep.42/MENLH/10/1996 disebutkan kandungan fenol total dalam limbah cair dibatasi hingga 2 mg/L untuk pembuangan [4].

Fenol adalah senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada atom karbon pada cincin benzena [3]. Struktur fenol tersaji pada Gambar 2.1: [14].



**Gambar 2. 1 :** Struktur Fenol

Senyawa fenol dapat larut di dalam air karena fenol bersifat polar dan akan terurai. Fenol akan melepaskan ion  $H^+$  dari gugus hidroksilnya, kemudian akan menghasilkan anion fenoksida  $C_6H_5O^-$ , sehingga fenol terionisasi menjadi  $H^+$  dengan nilai ( $K_a = 1,2 \times 10^{-10}$ ). Hal ini sesuai dengan persamaan reaksi (2.1): [15].



Telah dipelajari mengenai degradasi fotokatalik fenol menggunakan fotokatalis ZnO yang disintesis dengan metode pengendapan menggunakan prekursor seng asetat. Faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi fenol adalah pH larutan fenol, jumlah fotokatalis ZnO, waktu reaksi optimum, dan konsentrasi laju fotodegradasi fenol [6].

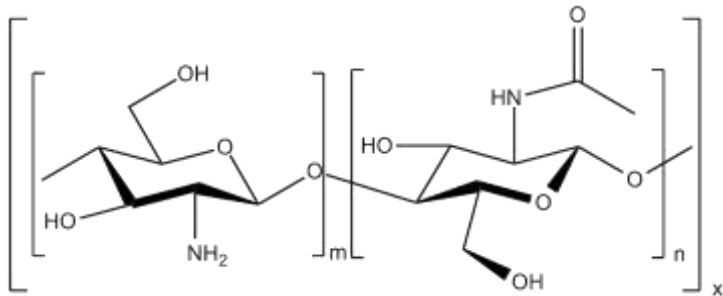
## 2.2 Kitosan

Kitosan adalah senyawa biopolimer yang dimanfaatkan sebagai antibakteri karena kitosan memiliki gugus amina yang menjadikan kitosan bersifat polikationik dan lebih aktif, sehingga dapat berinteraksi dengan dinding sel bakteri yang mengandung gugus bermuatan negatif [16]. Kitosan (poli- $\beta$ -(1,4)-D-glukosamin) diperoleh dari proses deasetilasi dari kitin yang terdapat pada cangkang kepiting, kulit udang dan cangkang serangga. Kitosan mempunyai gugus asam amino dan gugus hidroksil yang menyebabkan kitosan memiliki reaktifitas kimia yang tinggi [17]. Kitosan memiliki densitas muatan yang tinggi yaitu satu muatan per unit glukosamin sehingga muatan positif kitosan berasal dari gugus amonia ( $-NH_3$ ) [18].

Kitosan berfungsi sebagai pengikat atau absorben logam-logam berat. Terdapat banyak penelitian yang menyatakan aplikasi dari kitosan diantaranya adalah untuk menghilangkan cadmium (Cd)

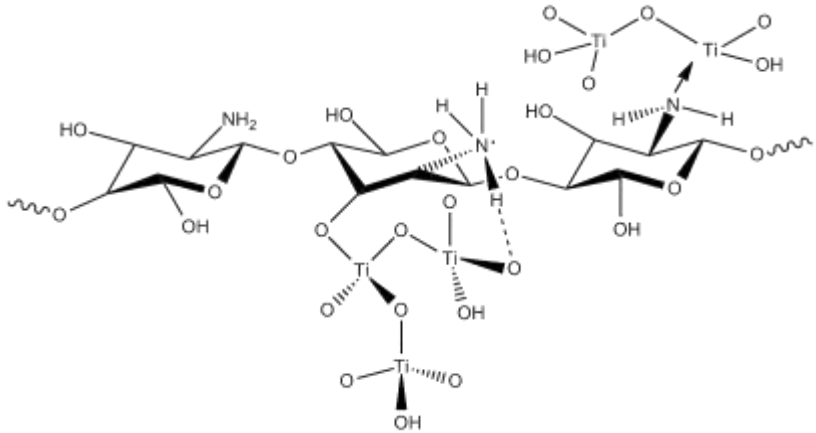
dalam larutan cair, adsorpsi logam seng (Zn), dan sebagai biosorpsi logam-logam berat Pb, Fe, dan Cu [16]. Kitosan banyak digunakan sebagai adsorben logam berat dan zat warna karena adanya gugus amina (-NH<sub>2</sub>) dan adanya gugus hidroksil (-OH) pada rantai polimer kitosan [18]. Kitosan merupakan material pengemban yang baik karena dapat menghilangkan berbagai limbah organik maupun anorganik. Kitosan juga memiliki sifat tidak beracun, anti bakteri dan *biodegradable* [8].

Struktur kitosan memiliki atom karbon yang spesifik dari kelompok-kelompok amino. Kitosan juga efisien membentuk kompleks dari spesies ion logam [19]. Struktur dari kitosan tersaji pada Gambar 2.2 : [20].



**Gambar 2. 2 :** Struktur Kitosan.

Dalam struktur interaksi kitosan dengan TiO<sub>2</sub> yang tersaji pada Gambar 2.3 yang membentuk ikatan hidrogen untuk atom Ti. Pembentukan interaksi asam-basa Lewis dan ikatan hidrogen antara gugus-gugus fungsional pada kitosan dan zat lainnya yang dapat menstabilkan interaksi dari kitosan. Pada bilangan gelombang di daerah 3749-3873 cm<sup>-1</sup>, transmitan spektra muncul sebagai pita tajam pada nanokomposit TiO<sub>2</sub>-Kitosan. Hal ini menunjukkan bahwa kelompok hidroksil dari kitosan telah berinteraksi dengan titanium. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat ikatan hidrogen antara kitosan dan TiO<sub>2</sub> [21].



**Gambar 2. 3** Interaksi hipotetik antara  $\text{TiO}_2$  dengan kitosan [21].

### 2.3 Semikonduktor Titanium Dioksida

Semikonduktor merupakan suatu material yang dicirikan dengan terisinya pita valensi dan kosongnya pita konduksi [22]. Titanium dioksida adalah semikonduktor yang bersifat fotokatalis dan dapat diaktifkan oleh cahaya pada tingkat energi yang sesuai [23]. Titanium dioksida memiliki banyak pengaplikasiannya diantaranya adalah sebagai sel surya, fotokatalis, sensor biologis dan kimia serta produk kesehatan [24]. Titanium dioksida memiliki energy *band gap* sebesar 3,2 eV yang dapat diaktivasi oleh sinar UV maupun sinar matahari [25].  $\text{TiO}_2$  memiliki 3 bentuk murni yaitu : [26].

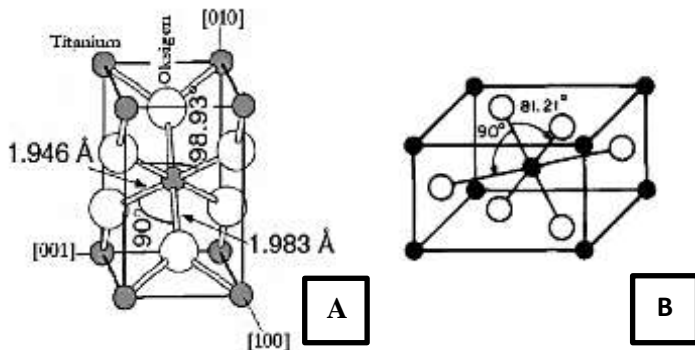
1. Rutile : memiliki struktur tetragonal dan mengandung 6 atom per unit sel. Memiliki energy *band gap* 3,02 eV.
2. Anatase : memiliki struktur tetragonal tetapi mengalami distorsi dari bentuk oktahedron  $\text{TiO}_6$  menjadi sedikit lebih besar dari bentuk anastase. Memiliki energy *band gap* 3,23 eV.
3. Brokit : memiliki struktur kristal ortorombik. Memiliki energy *band gap* 3,14 eV.

**Tabel 2. 1** Struktur Kristal anatase, rutil dan brokit [26].

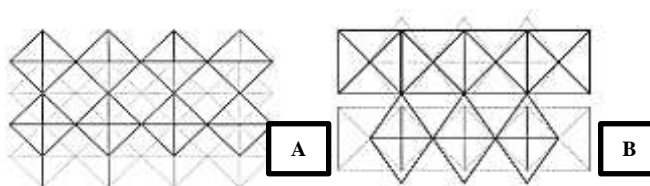
Sifat	Rutil	Anastase	Brokit
Struktur kristal	Tetragonal	Tetragonal	Ortorombik
Energi band gap	3,02 eV	3,23 eV	3,14 eV
Tetapan geometris (Å)	a=b = 4,5936 c= 2,9587	a=b = 3,784 c= 9,515	a=9,184 b=5,447 c=5,15
Volume/molekul (Å <sup>3</sup> )	31,2160	34,061	32,172
Berat jenis (gcm <sup>-3</sup> )	4,13	3,79	3,99
Panjang ikatan Ti-O (Å)	1,949 (4) 1,980 (2)	1,937(4) 1,965(2)	1,87–2,04
Sudut ikatan O-Ti-O	81,2° 90,0°	77,7° 92,6°	77,0°–105°

Titanium dioksida mempunyai dua bentuk utama dalam bentuk mikroskopis yaitu kristal dan amorf. Bentuk amorf artinya bahan yang memiliki keteraturan pita konduksi dan pita valensi. TiO<sub>2</sub> amorf memiliki kemampuan untuk mendegradasi polutan dalam waktu yang singkat. Hal ini dikarenakan TiO<sub>2</sub> amorf tidak memiliki defek oksigen dan bersifat semikonduktor, sehingga memiliki kemampuan fotokatalisis. Perbedaan struktur kristal akan mengakibatkan perbedaan massa jenis (3,9 g/mL untuk anastase dan 4,2 g/mL untuk rutil). Adanya perbedaan ini juga mengakibatkan perbedaan tingkat energi dari struktur pita elektroniknya. Berdasarkan perbedaan energi gap dari kedua struktur, maka anastase memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih baik [27].

Struktur dari kristal rutil dan anatase dibedakan berdasarkan pola susunan dari rantai oktahedron dan distorsi dari oktahedron, seperti yang tersaji dalam (Gambar 2.4). Enam atom O<sup>2-</sup> akan mengelilingi setiap ion Ti<sup>4+</sup>. Pada struktur kristal rutil akan terlihat distorsi ortorombik, sedangkan pada struktur kristal anatase akan terlihat distorsi yang besar yang mengakibatkan struktur tidak simetri [28].



**Gambar 2. 4** Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  anatase (A) Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  rutil (B) [26].



**Gambar 2. 5** Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  anatase dua dimensi (A) Struktur kristal  $\text{TiO}_2$  rutil dua dimensi (B) [29].

## 2.4 Proses Fotokatalisis

Fotokatalisis adalah proses yang memanfaatkan cahaya tampak atau sinar ultraviolet yang berfungsi untuk mengaktifkan katalis yang kemudian akan bereaksi dengan senyawa kimia yang berada dekat dengan permukaan katalis [12]. Fungsi dari katalis adalah untuk mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu tanpa melalui suatu perubahan [30].

Keuntungan dari proses fotokatalisis adalah proses ini tidak spesifik sehingga mampu mendegradasi tidak hanya satu macam senyawa kimia, sangat kuat sehingga dapat mencapai mineralisasi yang sempurna berupa  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  [12]. Fotokatalis adalah sebuah zat yang diaktifkan oleh proses penyerapan foton dan berfungsi untuk

membantu mempercepat reaksi [31]. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  memiliki kekurangan diantaranya adalah kurang dalam kemampuan adsorpsi sehingga kontak antara  $\text{TiO}_2$  dengan limbah dalam proses fotodegradasi tidak maksimal serta dalam keadaan keruh, sinar UV terhalang oleh partikel limbah sehingga tidak mampu mengaktifkan material dari fotokatalis. Kelemahan dari fotokatalis  $\text{TiO}_2$  ditutupi dengan adanya pengemban yang memiliki kemampuan adsorpsi yang baik [8].

Titanium dioksida adalah suatu fotokatalis yang memiliki *band gap* sebesar 3,2 eV yang efektif diaplikasikan pada sinar UV. Penambahan doping pada semikonduktor fotokatalis  $\text{TiO}_2$  menjadi cara untuk meningkatkan penyerapan sinar pada daerah panjang gelombang sinar tampak [32]. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dengan iluminasi cahaya ultra ungu (UV) telah mampu mendegradasi senyawa organik seperti *methylene blue*. *Energy band gap*  $\text{TiO}_2$  relatif besar sehingga menyebabkan keterbatasan dalam aplikasinya karena hanya dapat aktif pada daerah cahaya ultra ungu dengan panjang gelombang kurang dari 380 nm yang merupakan fraksi relative kecil (8%) dibandingkan dengan cahaya tampak (45%) yang terkandung dalam spectrum sinar matahari [23].

Katalis semikonduktor yang banyak digunakan dalam proses fotokatalisis diantaranya adalah  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{CeO}_2$ , dll. Dari beberapa katalis yang ada, yang paling banyak digunakan adalah katalis  $\text{TiO}_2$  karena titanium oksida memiliki sifat stabil terhadap cahaya, tidak beracun, kemampuan untuk mengoksidasi yang tinggi dan tidak larut dalam kondisi eksperimen [31].

Fotokatalis semikonduktor apabila diberi foton sebesar  $h\nu$ , maka energi foton akan diabsorpsi oleh elektron pada pita valensi sehingga elektron tersebut pindah ke tingkat energi yang lebih tinggi yaitu pita konduksi sehingga akan mengakibatkan terbentuknya pasangan *electron-hole* pada permukaan katalis ketika diinduksi oleh energi foton yang sesuai [8].

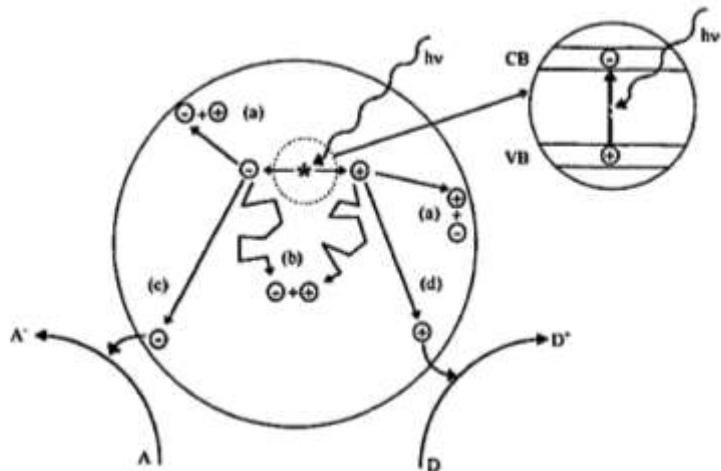
Reaksi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  adalah reaksi antara fotooksidasi dan fotoreduksi yang diawali dengan adsorpsi substrat ke permukaan semikonduktor. Reaksi fotooksidasi maupun fotoreduksi dapat terjadi karena  $\text{TiO}_2$  adalah semikonduktor dengan struktur elektronik yang khas yaitu memiliki pita valensi dan pita konduksi yang kosong sehingga akan mengalami eksitasi ketika dikenai dengan sinar

matahari yang menyebabkan kekosongan *hole* pada pita valensi yang berperan sebagai muatan positif. Selanjutnya *hole* akan bereaksi dengan H<sub>2</sub>O membentuk radikal hidroksil dimana radikal hidroksil merupakan oksidator yang kuat untuk mendegradasi senyawa organik menjadi CO<sub>2</sub> dan air [34]. Tahapan reaksi fotokatalis dari TiO<sub>2</sub> (2.2-2.5) yaitu : [35].



Ketika TiO<sub>2</sub> terkena cahaya ( $\lambda < 385 \text{ nm}$ ) akan menghasilkan electron ( $\text{e}^-$ ) dan lubang positif ( $\text{h}^+$ ) yang akan menginisiasi reaksi kimia pada permukaannya, selanjutnya electron tersebut akan berinteraksi dengan O<sub>2</sub> dan akan menghasilkan O<sup>2-</sup>, sedangkan  $\text{h}^+$  berinteraksi dengan air menghasilkan radikal hidroksil [35].

Radikal hidroksil adalah suatu oksidator yang memiliki nilai potensial yang besar yaitu 2,8 Volt [32]. Nilai dari potensial reduksi menunjukkan kemampuan mengoksidasi yang besar dan dapat dimanfaatkan untuk degradasi senyawa organik [36].



**Gambar 2. 6** Mekanisme fotokatalis TiO<sub>2</sub> [36].



Gambar 2.6 menunjukkan mekanisme fotokatalis pada  $\text{TiO}_2$ . Foton dengan energi yang sesuai atau melebihi celah energi  $\text{TiO}_2$  menghasilkan pasangan elektron *hole* di permukaan. Elektron kemudian dieksitasi ke pita konduksi, sedangkan *hole* ke pita valensi sehingga mengakibatkan transfer elektron. Elektron yang tereksitasi bergabung dengan *hole* dan melepaskan panas [37].

## 2.5 Fotokatalis Lapis Tipis $\text{TiO}_2$ -Kitosan

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan dari bahan organik, anorganik, metal, maupun campuran metal-organik yang memiliki sifat sebagai konduktor, semikonduktor, superkonduktor, ataupun isolator. Lapisan tipis titanium dioksida merupakan semikonduktor bersifat fotokatalis. Sifat dari lapisan tipis titanium dioksida ini stabil terhadap perubahan suhu dan bersifat anti korosi dan tidak beracun. Lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  mempunyai berbagai macam aplikasi diantaranya adalah sebagai fotokatalis, penginderaan gas, *antireflective*, lapisan pelindung, lapisan antibakteri dan optik [9]. Penggunaan serbuk  $\text{TiO}_2$  yang disebar secara langsung pada air limbah memiliki berbagai kekurangan, hal ini disebabkan ketika proses pembersihan polutan organik yang telah selesai dilakukan, air akan tercemar oleh serbuk  $\text{TiO}_2$ . Oleh karena itu dilakukan pelapisan partikel  $\text{TiO}_2$  pada lapis tipis [38].

Berbagai metode telah banyak digunakan untuk deposisi lapisan tipis  $\text{TiO}_2$ , diantaranya adalah metode sol-gel, deposisi langsung dari endapan larutan, *sputtering*, *ultrasonic spray pyrolysis*, *laser-assisted pyrolysis*, *co-precipitation method*, dan *hydrothermal crystallization* [38]. Menurut Ivanova [39] yang mempelajari tentang pembuatan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan vanadium, mangan oksida dan oksida zirkonium. Metode yang digunakan memiliki keuntungan yaitu memiliki homogenitas yang baik, memiliki deposisi area yang luas dan biaya yang diperlukan murah.

Metode *dip-coating* atau yang sering disebut metode celupan banyak digunakan karena prosesnya yang mudah dan tidak mahal. Proses yang terjadi dalam metode ini adalah substrat dicelupkan ke dalam larutan yang kemudian diangkat secara vertikal dengan kecepatan yang konstan. Larutan yang melekat pada substrat dan membentuk lapisan tipis karena pelarutnya akan menguap dan sebagian larutan akan turun karena adanya gaya gravitasi [40].

Ketebalan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  akan mempengaruhi pemanfaatan energi foton untuk mengeksitasi pembawa muatan dari pita valensi ke pita konduksi. Semakin tebal lapisan tipis maka energi foton yang diserap akan semakin banyak [38].

## 2.6 Pengaruh pH dan Lama Penyinaran terhadap Degradasi Fenol

Pengaruh pH merupakan faktor yang signifikan terhadap senyawa organik termasuk fenol. Pada kondisi basa, penurunan konsentrasi akan semakin besar karena terjadi reaksi tidak langsung [41]. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Guillard, dkk [42] menyatakan bahwa naiknya pH akan mempengaruhi proses fotokatalis pada zat pewarna yang diadsorpsi oleh  $\text{TiO}_2$ . pH akan mempengaruhi permukaan fotokatalis dimana pada pH yang tinggi permukaan katalis akan bermuatan negatif. Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  memiliki *point of zero charge* ( $\text{pH}_{\text{pzc}}$ ) pada kisaran 6,8 [11]. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Permata [6] yang mengatakan fenol lebih terdegradasi dalam suasana basa. Presentase degradasi (%D) tertinggi berada pada pH 8 yang menyebabkan fenol semakin cepat terdegradasi. Sedangkan menurut penelitian Palupi [12] tentang degradasi senyawa *methylene blue* dengan fotokatalis film  $\text{TiO}_2$ . Senyawa *methylene blue* paling baik dilakukan pada keadaan basa, karena foton yang diadsorpsi dapat mengawali reaksi fotolisis dengan menyerang ikatan kromofor pada senyawa *methylene blue*.

Lama penyinaran pada proses fotodegradasi menggambarkan lama interaksi antara fotokatalis dengan sinar ( $h\nu$ ) dalam menghasilkan  $\bullet\text{OH}$  dan kontak antara  $\bullet\text{OH}$  dengan substrat dalam proses fotodegradasi. Pada kondisi penyinaran yang diperoleh dari sinar matahari memberikan hasil degradasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sinar UV. Hal ini dikarenakan sinar matahari memiliki intensitas dan panjang gelombang antara (310-2300 nm) yang lebih besar dibandingkan dengan panjang gelombang sinar UV (200-380 nm) [43]. Presentase degradasi fenol akan semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu degradasi. Semakin meningkatnya jumlah permukaan fotokatalis menyediakan  $\bullet\text{OH}$  maka reaksi fotodegradasi fenol akan semakin efektif dan presentase degradasi (%D) fenol akan semakin meningkat [6].

## 2.7 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu instrument yang berfungsi untuk menganalisa unsur-unsur berkadar rendah secara kuantitatif maupun secara kualitatif. Prinsip dari spektrofotometer UV-Vis adalah apabila suatu cahaya monokromatis dilewatkan melalui suatu media yang transparan, maka bertambah-turunnya intensitas cahaya yang ditransmisikan akan sebanding dengan tebal dan kepekaan media yang digunakan [19].

Pengukuran konsentrasi didasarkan pada hukum Lambert-Beer, yang menyatakan hubungan antara banyaknya sinar yang diserap sebanding dengan konsentrasi unsur dalam cuplikan, yang dinyatakan dengan persamaan : [19]

$$A = \log \frac{I_0}{I_t} \quad (2.6)$$

$$A = a \cdot b \cdot C \quad (2.7)$$

dengan A= absorbansi, a= koefisien serapan molar ( $L \cdot g^{-1} \cdot cm^{-1}$ ) b= tebal kuvet (cm), c= konsentrasi ( $mg \cdot L^{-1}$ )  $I_0$ = intensitas sinar mula-mula dan  $I_t$ = intensitas sinar yang diteruskan [19].

Konsentrasi fenol ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan nilai absorbansi 190-400 nm, dan pada absorbansi 269 nm yang berhubungan dengan penyerapan fenol maksimal [44].

## 2.8 Karakterisasi

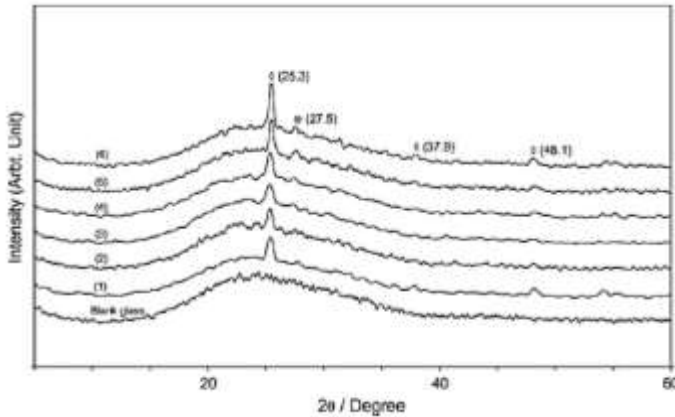
### 2.8.1 Karakterisasi XRD (X-Ray Diffraction)

Analisa *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan metode yang menganalisis jenis dan sifat mineral tertentu dengan melihat pola difraksi mineral yang dihasilkan [45]. Analisa XRD bertujuan untuk mengetahui derajat kristalinitas dan menentukan bentuk kristal dari suatu sampel [29]. Instrumen XRD ini digunakan secara luas untuk mengidentifikasi suatu fase yang dilakukan dengan membandingkan *scan* difraksi dengan database JSPDS. Analisa XRD juga memberikan informasi tentang ukuran kristal, % kristalinitas, kuantifikasi fase dalam sampel, dan penentuan parameter kisi [46]. Prinsip dari analisa XRD adalah hamburan sinar X yang mengenai bidang-bidang dalam suatu kristal yang tersusun secara teratur dan berulang. Bidang-bidang tersebut yang berjarak  $d$  hkl akan menghamburkan sinar-X yang akan

mengenai dengan sudut difraksi tertentu sesuai dengan persamaan Bragg : [28].

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.8)$$

dengan:  $n$  = kelipatan bilangan bulat,  $\lambda$  = panjang (nm),  $\theta$  = sudut difraksi,  $d$  = jarak antar bidang.



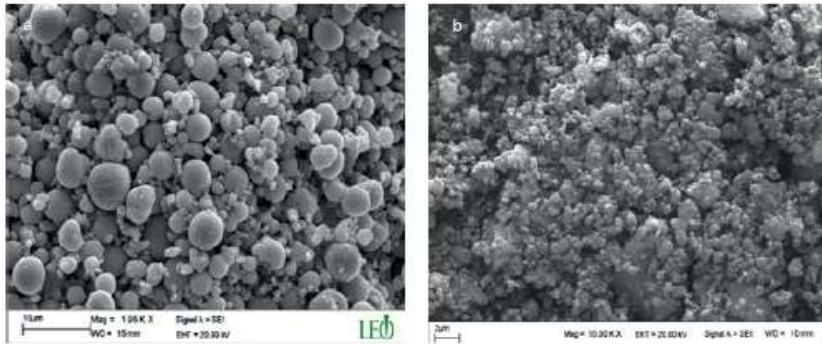
**Gambar 2. 7** Pola XRD dari TiO<sub>2</sub>-Kitosan / Glass (2,5 g kitosan : 2,5 g TiO<sub>2</sub> Degusa P-25) dengan perbedaan permukaan fotokatalis (1-6 lapisan *dip-coating*) [7].

Pada Gambar 2.8 diatas menunjukkan pola difraksi sinar-X dari TiO<sub>2</sub>-Kitosan/Glass dengan fotokatalis berbeda yang menggunakan metode *dip-coating*. Puncak yang berhubungan dengan anatase muncul pada  $2\theta = 25,3^\circ, 37,9^\circ, \text{ dan } 48,1^\circ$ . Dari hasil analisa XRD yang didapat diketahui bahwa fase utama dari TiO<sub>2</sub>-Kitosan/Glass pada berbagai fotokatalis sebagian besar mengandung struktur kristal anatase. Nilai peak semakin tajam dengan meningkatnya lapisan *dip-coating*. Hal ini menunjukkan bahwa fotokatalis berpengaruh terhadap kristalinitas dari TiO<sub>2</sub>-Kitosan/Glass [9].

### 2.8.2 Karakterisasi SEM (Scanning Electron Microscopy)

Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) berfungsi untuk mengkarakterisasi dan mengamati material organik heterogen dan anorganik pada skala nanometer (nm) sampai skala mikrometer.

SEM juga memudahkan untuk memperoleh gambar pada perbesaran tiga dimensi [47].



**Gambar 2. 8** Gambar SEM mikrofotograf dari a)  $\text{TiO}_2^{37}$  murni b) partikel NCT [48].

Analisa SEM pada Gambar 2.9 tersebut menunjukkan bahwa bentuk partikel yang mirip antara satu sama lain yang cenderung berbentuk bola. Ukuran partikel nanokomposit ditentukan oleh ukuran partikel analyzer [48].

Prinsip dari SEM adalah apabila seberkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron akan direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Emisi radiasi elektromagnetik dari sampel timbul pada panjang gelombang yang bervariasi tapi pada dasarnya panjang gelombang yang lebih menarik untuk digunakan adalah daerah panjang gelombang cahaya tampak dan sinar-X [49].