

**FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN  
TiO<sub>2</sub> SEBAGAI KATALIS**

**SKRIPSI**

*Diajukan sebagai Salah Satu Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains*



Oleh :  
**ROHADATUL NADYA MAURANI**  
NIM. 17036167/2017

**PROGRAM STUDI KIMIA  
JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2019**

PERSETUJUAN SKRIPSI

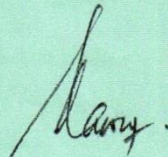
FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN  $\text{TiO}_2$   
SEBAGAI KATALIS

Nama : Rohadatul Nadya Maurani  
NIM : 17036167  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

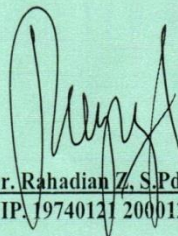
Padang, Agustus 2019

Mengetahui :  
Ketua Jurusan Kimia

Disetujui oleh :  
Pembimbing



Dr. Mawardi, M.Si.  
NIP. 19611123 198903 1 002



Dr. Rahadian Z. S.Pd., M.Si.  
NIP. 19740121 200012 1 001

**PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI**

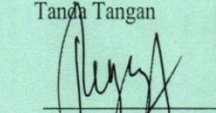
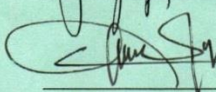
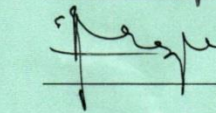
Nama : Rohadatul Nadya Maurani  
NIM : 17036167  
Program Studi : Kimia  
Jurusan : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN  $\text{TiO}_2$   
SEBAGAI KATALIS**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi  
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Padang

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji

|         | Nama                           | Tanda Tangan   |
|---------|--------------------------------|--|
| Ketua   | : Dr. Rahadian Z, S.Pd., M.Si. |  |
| Anggota | : Ananda Putra, M.Si., Ph.D.   |  |
| Anggota | : Edi Nasra, S.Si., M.Si.      |  |

# Fototransformasi Asam Humat Menggunakan TiO<sub>2</sub> sebagai Katalis

Rohadatul Nadya Maurani

## ABSTRAK

Persoalan lahan gambut menjadi fenomenal di Indonesia, hal ini disebabkan karena sebagian besar wilayah di Indonesia terdapat lahan gambut yang sangat luas. Air gambut merupakan air permukaan yang terdapat di daerah gambut yang tersebar di dataran rendah. Kandungan dari air gambut salah satunya adalah asam humat. Asam humat dapat menyebabkan diare, iritasi kulit bahkan karsinogen akibat kandungan Trihalometan (THM). Salah satu metode yang sering digunakan untuk degradasi yaitu fotokatalis. Fotokatalis yang digunakan untuk degradasi asam humat adalah TiO<sub>2</sub>. Pembuatan lapis tipis TiO<sub>2</sub> pada keramik dengan metode *dip coating* dan uji aktivitas fotokatalis dalam asam humat. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan TTIP sebagai prekursor dan MEA sebagai aditif dalam isopropanol.

Penelitian tentang fototransformasi asam humat menggunakan metode UV-Vis untuk melihat penurunan absorbansi awal dan sesudah degradasi dan menentukan efisiensi kemampuan fotokatalis TiO<sub>2</sub> dalam fototransformasi asam humat dibawah lampu neon 8 watt dan metode XRD (X-Ray Diffraction) untuk melihat bagaimana kristal yang terbentuk dan ukuran kristal dari TiO<sub>2</sub> pada keramik.

Keramik dilapisi ke larutan TTIP 0.5 M dengan metode *dip coating*, kemudian dikeringkan di oven pada suhu 110°C selama 10 menit dan difurnace pada suhu 500°C selama 2 jam. Degradasi maksimal TTIP 0,5 M yaitu 59.82% pada 2 lapisan titania (TiO<sub>2</sub>) dengan suhu kalsinasi 500°C dengan 8,06 ppm selama 24 jam menggunakan lampu neon 8 watt. Pengujian XRD yang dilakukan pada keramik dengan suhu kalsinasi 500°C pada 2 lapisan pada keramik didapatkan kristal anatase dan ukuran kristal pada sudut difraksi (2θ) 26,65nm.

Kata Kunci: TiO<sub>2</sub>, Fototransformasi, Asam Humat

## **Humic acid Phototransformation Using TiO<sub>2</sub> as a catalyst**

**Rohadatul Nadya Maurani**

### **ABSTRACT**

The peatland issue has become phenomenal in Indonesia, because most of the area in Indonesia has very large peatlands. Peat water is surface water that occurs in peat areas that spread in lowlands. The peat water content, including humic acid. Humic acid can cause diarrhea, skin irritation and even carcinogens due to the content of Trihalometan (THM). One of the methods often used for degradation is photocatalyst. The photocatalyst used for the degradation of humic acid is TiO<sub>2</sub>. Manufacture of thin TiO<sub>2</sub> films in ceramics by dip coating method and photocatalyst activity test in humic acid. This research was conducted with TTIP as a precursor and MEA as an additive in isopropanol.

Research on phototransformation with humic acid uses the UV-Vis method to see the decrease in absorption early and after degradation and the efficiency of TiO<sub>2</sub> photocatalyst in humic acid phototransformation under 8 watt fluorescent lamps and XRD (X-Ray Diffraction) method to determine how crystals are formed and the size crystals of TiO<sub>2</sub> on ceramic ..

Ceramic was coated to a TTIP 0.5 M solution with a dip coating method, then dried in the oven at 110 ° C for 10 minutes and refined at 500°C for 2 hours. Maximum degradation of 0.5 M TTIP is 59.82% in 2 titania layers (TiO<sub>2</sub>) with a calcining temperature of 500 ° C at 8.06 ppm for 24 hours with fluorescent lamps of 8 watts. XRD test performed on ceramics with a calcining temperature of 500 ° C in 2 layers of ceramics obtained crystal anatase and crystal size at the diffraction angle (2θ) 26.65 nm.

Key words : TiO<sub>2</sub>, Phototransformation, Humic Acid

## Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan hasil penelitian yang berjudul “FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN KATALIS  $\text{TiO}_2$  UNTUK PENGOLAHAN ASAM HUMAT”. Hasil penelitian ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan mata kuliah Seminar Hasil Penelitian di jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Penulisan hasil penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Rahadian Zainul, S.Pd M.Si selaku dosen pembimbing
2. Ibu Minda Azhar, M.Si selaku dosen pembimbing akademik
3. Dr. Mawardi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang
4. Bapak Hary Sanjaya, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang
5. Bapak Ananda Putra, M.Si, Ph.D dan Bapak Edi Nasra, S.Si., M.Si selaku Penguji.
6. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang
7. Orang tua dan Teman-teman kimia 2015 dan transfer kimia 2017.

Semoga bimbingan dan bantuan yang Bapak, Ibu dan teman-teman berikan dapat menjadi amal kebaikan dan memperoleh balasan yang lebih baik

dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini masih belum sempurna. Untuk itu penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Agustus 2019

Penulis

## Daftar Isi

### ABSTRAK

Kata Pengantar ..... i

Daftar Isi ..... iii

Daftar Gambar ..... v

Daftar Lampiran ..... vi

**BAB I PENDAHULUAN ..... 1**

A. Latar Belakang ..... 1

B. Batasan Masalah ..... 4

C. Rumusan Masalah ..... 4

D. Tujuan Penelitian ..... 5

E. Manfaat Penelitian ..... 5

**BAB II KERANGKA TEORITIS ..... 6**

A. Air Rawa Gambut ..... 6

1. Karakteristik Air Gambut ..... 7

B. Asam Humat ..... 9

C. Fotokatalis ..... 10

D. Fotokatalis TiO<sub>2</sub> ..... 13

E. Metode Sol Gel ..... 16

F. *Dip Coating* ..... 17

G. X-Ray Diffraction (XRD) ..... 18

H. Spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis) ..... 19

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... 21**

A. Tempat dan Waktu Penelitian ..... 21



|    |  |           |
|----|--|-----------|
| B. | Objek Penelitian.....  | 21        |
| C. | Variabel Penelitian.....   | 21        |
| D. | Alat dan Bahan.....  | 21        |
|    | 1. Persiapan media keramik .....   | 22        |
|    | 2. Preparasi Fotokatalis TTIP 0.5 M.....                                 | 22        |
|    | 3. Preparasi Lapis Tipis Menggunakan Metode <i>Dip Coating</i> .....     | 22        |
|    | 4. Pembuatan Desain Reaktor .....  | 23        |
|    | 5. Uji Fotokatalis Degradasi Asam Humat .....                            | 23        |
|    | 6. Karakterisasi menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....        | 23        |
|    | 7. Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-VIS .....               | 24        |
|    | <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                                 | <b>25</b> |
| A. | Karakterisasi TiO <sub>2</sub> Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) ..... | 25        |
| B. | Fototransformasi Asam Humat. ....  | 27        |
|    | <b>BAB V PENUTUP .....</b>   | <b>31</b> |
| A. | Kesimpulan .....   | 31        |
| B. | Saran .....  | 31        |
|    | <b>KEPUSTAKAAN .....</b>   | <b>32</b> |
|    | <b>Lampiran .....</b>  | <b>35</b> |

## Daftar Gambar

|  |    |
|--|----|
| 1. hubungan antara warna dan sifat-sifat kimia zat humat.....            | 6  |
| 2. struktur asam humat .....   | 10 |
| 3. bentuk TiO <sub>2</sub> .....   | 14 |
| 4. proses pembentukan puncak XRD .....                                   | 18 |
| 5. Reaktor statis.....   | 23 |
| 6. hasil XRD TiO <sub>2</sub> 2 lapisan dengan suhu kalsinasi 500°C..... | 26 |
| 7. spektrum asam humat 20 ppm .....                                      | 27 |
| 8. Grafik degradasi asam humat suhu kalsinasi 400°C .....                | 28 |
| 9. Grafik degradasi asam humat suhu kalsinasi 500°C .....                | 28 |
| 10. Grafik Degradasi asam humat suhu kalsinasi 600°C .....               | 29 |

## Daftar Lampiran

|   |    |
|---|----|
| 1. Pembuatan TTIP (Titanium (IV) IsoPropoksida 0,5M .....                         | 35 |
| 2. Penyiapan dan Perancangan Reaktor .....  | 36 |
| 3. Desain Penelitian.....   | 37 |
| 4. Hasil UV –Vis Asam Humat 20 PPM.....   | 38 |
| 5. Perhitungan pembuatan asam humat 20 ppm.....                                   | 40 |
| 6. Spektrum XRD Hasil Karakterisasi TiO <sub>2</sub> suhu 500 <sup>0</sup> C..... | 45 |
| 7. Dokumentasi hasil penelitian .....   | 47 |

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Persoalan lahan gambut menjadi fenomenal di Indonesia, hal ini disebabkan karena sebagian besar wilayah di Indonesia terdapat lahan gambut yang sangat luas. Berdasarkan penelusuran literatur pada *Pudmed* menggunakan *endnote*, ada 617 riset diseluruh dunia yang telah berkembang pesat dari tahun ke tahun 7.8% dari riset tersebut berasal dari Indonesia. Kajian dari Badan Restorasi Gambut tahun 2016 luas lahan gambut di Indonesia sekitar 14,91 juta ha yang tersebar di Riau, Jambi, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah dan Papua. Air di wilayah gambut merupakan sumber air baku yang tersedia bagi masyarakat yang dapat dipakai bila air gambut dapat dirubah menjadi produk mineralisasi yang menunjang bagi pertumbuhan lahan pertanian (Usman, Darmayanti et al. 2013).

Air gambut merupakan air permukaan yang terdapat di daerah gambut yang tersebar di dataran rendah. Karakteristik air gambut mempunyai intensitas warna yang tinggi (berwarna merah kecoklatan), derajat keasaman tinggi (nilai pH rendah), kandungan zat organik tinggi, dan konsentrasi partikel tersuspensi dan ion rendah (Usman, Darmayanti et al. 2013). Dari karakteristik air gambut tersebut menyebabkan penggunaan air gambut masih terbatas dan memerlukan pengolahan terlebih dahulu agar diperoleh air bersih. Air gambut mengandung asam fulvat, humin, dan asam humat yang membuat air gambut segi kualitas, dan kesehatan tidak layak digunakan untuk aktivitas manusia karena tidak memenuhi standar air bersih (Agus and Subiksa 2008).

Kandungan dari air gambut tersebut adalah Asam humat. Asam humat dapat menyebabkan diare, iritasi kulit bahkan karsinogen akibat kandungan Trihalometan (THM). Asam humat adalah suatu senyawa organik yang relatif resisten, bersifat koloid yang berasal dari dekomposisi bahan organik yang larut dalam basa dan mengendap dalam asam. Asam humat memiliki struktur yang kompleks dengan berat molekul tinggi yang mengandung gugus aktif. Asam humat dapat berperan sebagai substrat tumbuhnya bakteri dari kotoran-kotoran di perairan (Usman, Darmayanti et al. 2014).

Salah satu upaya penjernihan air gambut yaitu dengan teknologi konvensional yang digunakan dalam pengolahan air yang mengandung zat organik tinggi meliputi koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan filtrasi. Teknologi konvensional masih memiliki banyak kekurangan, melihat kekurangan dari metode konvensional, fotokatalis heterogen dianggap sebagai solusi alternatif yang efektif untuk menghilangkan asam humat dari perairan (Andayani and Bagyo 2011).

Fotolisis menunjukkan potensi dalam mengatasi air gambut. Penambahan katalis dalam proses fotolisis dapat mengurai air gambut menjadi senyawa yang lebih sederhana. Fotokatalis adalah reaksi kimia yang berjalan dengan bantuan katalis yang aktif ketika di sinari cahaya matahari. Katalis dalam proses fotokatalis yang paling banyak digunakan untuk penjernihan air yaitu  $\text{TiO}_2$ . Hal ini disebabkan karena titania mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti semikonduktor, stabil, mempunyai aktivitas yang tinggi, tahan terhadap abrasi (goresan), relatif murah dan ramah lingkungan (Stiadi 2013).

Titania memiliki 3 struktur utama yaitu anatase, rutil dan brokrite dengan band gap sebesar 3.0 - 3.2 eV. Menurut (Arutanti, Abdullah et al. 2009) didalam

jurnal Agus, Sudaryanto tahun 2016 Perbedaan energi gap ( $E_g$ ) dipengaruhi oleh lingkungan kristal dari masing-masing atom penyusunnya, yaitu penyusunan atom Ti dan O dalam kristal  $TiO_2$  yang orientasinya berbeda satu sama lain, misalnya struktur anatase memiliki energi band gap ( $E_g$ ) sebesar 3,2 eV dan rutil sebesar 3,0 eV, dimana energi band gap sebesar itu memerlukan penyinaran sinar ultraviolet untuk melakukan proses fotokatalitik. Untuk mendapatkan logam  $TiO_2$  dapat dilakukan dengan sintesis dari serbuk  $TiO_2$  ataupun dari prekursor misalnya Titanium (IV) IsoPropoxida (TTIP), Titanium (II) Klorida ( $TiCl_2$ ), atau yang lain. Menurut Tjahjanto dan Gunlazuardi(2001) di dalam jurnal (Almu'minin) Sintesis  $TiO_2$  dalam TTIP dengan metode sol-gel dapat dipilih untuk meningkatkan efisiensi, dalam penggunaan fotokatalis metode sol-gel merupakan metode yang ideal dengan reaksi sederhana untuk mendapatkan material logam oksida dalam ukuran yang dapat dikontrol yang mana sangat dipengaruhi oleh komposisi reaktan, kondisi lingkungan, dan perlakuan sintesis (Chaharmahali 2012).

Faktor penting yang mempengaruhi aktivitas fotokatalis  $TiO_2$  yaitu struktur kristalnya, dimana banyak dilaporkan bahwa sintesis  $TiO_2$  dengan struktur anatase memiliki aktivitas fotokatalis terbaik pada sintesis  $TiO_2$  dengan struktur anatase merupakan yang paling stabil (Tjahjanto and Gunlazuardi 2001). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikaji mengenai pengaruh konsentrasi prekursor TTIP dan sebagai fotokatalis terhadap karakterisasi struktur, energi band gap, dan aktivitas fotodegradasinya.

Riset terdahulu Rahadian et, al.,(2016) melakukan proses degradasi asam humat menggunakan fotokatalis ZnO dengan bantuan cahaya UV. Riset yang sama juga dilakukan oleh Andayani dan Bagyo (2011) yaitu untuk menurunkan

kadar humat dalam air gambut dengan proses fotokatalis menggunakan  $\text{TiO}_2$  dengan sinar UV sebagai sumber penyinaran dan telah berhasil mendegradasi asam humat dan menurunkan intensitas warna dari air gambut. Oleh karena itu, peneliti mengajukan riset tentang fototransformasi asam humat menggunakan  $\text{TiO}_2$  sebagai katalis perlu dilakukan untuk menghasilkan produk baru yang lebih bermanfaat, dan menjadi hal yang perlu untuk dilakukan.

#### B. Batasan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang agar penelitian ini terarah maka peneliti membatasi penelitian ini. Adapun penelitian dibatasi sebagai berikut :

1. Fotokatalis yang digunakan yaitu titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ),
2. Prekursor pembuatan fotokatalis adalah Titanium (IV) isopropoksida,
3. Metode yang digunakan untuk preparasi fotokatalis adalah metode sol-gel dan pelapisan keramiknya dengan metode *dip coating*,
4. Uji karakteristik  $\text{TiO}_2$  menggunakan XRD,
5. Sumber cahaya yang digunakan yaitu lampu neon 8 watt,
6. Media yang digunakan keramik,
7. Variabel kontrol : suhu kalsinasi keramik yang telah di lapisi yaitu  $400^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$  dan  $600^\circ\text{C}$ , konsentrasi TTIP 0,5 M
8. Variabel bebas: pelapisan titania pada keramik dan waktu degradasi

#### C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka peneliti merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik dari  $\text{TiO}_2$  ?
2. Bagaimana mengubah asam humat dengan menggunakan katalis  $\text{TiO}_2$  dengan bantuan cahaya lampu neon 8 watt?

3. Bagaimana kemampuan  $\text{TiO}_2$  terhadap degradasi asam humat pada air gambut dibawah sinar lampu neon 8 watt?

#### D. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Melihat bagaimana kristal yang terbentuk dan ukuran kristal dari  $\text{TiO}_2$  pada keramik.
2. Menentukan efisiensi kemampuan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dalam fototransformasi asam humat dibawah lampu neon 8 watt.

#### E. Manfaat Penelitian

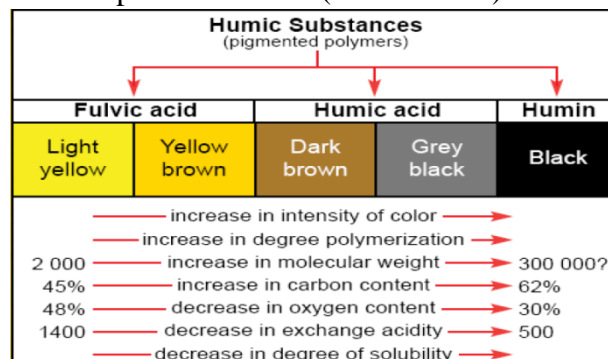
Dari penelitian yang dilakukan dapat mengetahui efisiensi fotokatalis  $\text{TiO}_2$  pada asam humat dan memberikan informasi fotokatalis semikonduktor yang lebih baik untuk diaplikasikan pada air rawa gambut.



## BAB II KERANGKA TEORITIS

### A. Air Rawa Gambut

Air Gambut merupakan air permukaan yang terdapat di daerah gambut yang tersebar di empat pulau besar, yaitu Sumatera 35%, Kalimantan 32%, Sulawesi 3%, dan Papua 30%. Karakteristik air gambut mempunyai intensitas warna yang tinggi (berwarna merah kecoklatan), derajat keasaman tinggi (nilai pH rendah), kandungan zat organik tinggi, sementara konsentrasi partikel tersuspensi dan ion rendah (Suherman and Sumawijaya 2013). Air gambut mengandung senyawa zat organik terlarut yang menyebabkan air menjadi warna coklat dan bersifat asam hal ini disebabkan oleh adanya kandungan senyawa organik yang berasal dari proses dekomposisi rawa sehingga perlu pengolahan khusus sebelum siap untuk dikonsumsi. Komposisi zat organik pada air gambut didominasi oleh senyawa humat yang memiliki ikatan aromatik kompleks yang memiliki gugus fungsi seperti  $-COOH$ ,  $-OH$  fenolat maupun  $-OH$  alkohol dan bersifat nonbiodegradable. Konsentrasi zat organik di dalam air gambut terlihat dari warnanya, semakin pekat warnanya semakin tinggi kandungan zat organiknya seperti diperlihatkan pada Gambar 1 (Zadow 2009).



Gambar 1 hubungan antara warna dan sifat-sifat kimia zat humat

Rendahnya konsentrasi partikel tersuspensi menyebabkan nilai kekeruhan yang rendah sehingga air gambut memiliki sifat fisik yang bening. Sifat-sifat ini menyebabkan proses penghilangan warna dan zat organik pada air gambut. Senyawa utama di dalam air gambut adalah asam humat, asam fulvat, dan humin yang merupakan zat pewarna di dalam air gambut. Ketiga jenis senyawa tersebut adalah hasil pelarutan dari humus yang terdapat di dalam lahan gambut. Berdasarkan penelitian, air gambut tersebut mengandung senyawa organik trihalometan yang bersifat karsinogenik (pemicu kanker). Selain itu, air gambut dapat menyebabkan iritasi kulit, gangguan metabolisme, dan menyebabkan kerusakan pada gigi (Indonesia 2010).

#### 1. Karakteristik Air Gambut

Air gambut tergolong air yang tidak memenuhi persyaratan air bersih yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tanggal 19 April 2010, beberapa karakteristik yang tidak memenuhi persyaratan adalah sebagai berikut :

- a. Segi estetika yaitu dengan adanya warna, kekeruhan dan bau pada air gambut akan mengurangi efektifitas usaha desinfeksi, karena mikroba terlindung oleh zat padat tersuspensi, baik yang bersifat anorganik maupun yang organik. Hal ini tentu berbahaya bagi kesehatan bila terdapat mikroba yang pathogen.
- b. pH rendah pada air gambut menyebabkan air terasa asam yang dapat menimbulkan kerusakan gigi dan sakit perut.
- c. Kandungan zat organik yang tinggi dapat menjadi sumber makanan bagi mikroorganisme dalam air yang dapat menimbulkan bau apabila zat organik

tersebut terurai secara biologis dan jika dilakukan desinfeksi dengan larutan khlor akan membentuk senyawa *organokhlorine* yang bersifat karsinogenik.

- d. Tingginya kadar besi (Fe) pada air merupakan suatu hal yang harus diperhatikan dalam penyediaan air bersih bagi masyarakat. Tingginya kadar besi pada air menyebabkan air berwarna merah kecoklatan dan berbau logam.
- e. Endapan mangan (Mn) akan memberikan noda-noda pada bahan/benda-benda yang berwarna putih. Adanya unsur ini dapat menimbulkan bau dan rasa pada minuman (Kusnaedi 2010).

Warna coklat kemerahan pada air gambut merupakan akibat dari tingginya kandungan zat organik (bahan humus) terlarut terutama dalam bentuk asam humus dan turunannya. Asam humus tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon atau kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi, namun secara umum telah mencapai dekomposisi yang stabil. Warna akan semakin tinggi karena disebabkan oleh adanya logam besi yang terikat oleh asam organik yang terlarut dalam air tersebut (Nurhasni, Firdiyono et al. 2012)

Berdasarkan kelarutannya dalam alkali dan asam, asam humus dibagi dalam tiga fraksi utama yaitu (Kusnaedi 2010)

- a. Asam Humat

Asam humat atau humus dapat didefinisikan sebagai hasil akhir dekomposisi bahan organik oleh organisme secara aerobik.

- b. Asam fulvat

Asam fulvat merupakan senyawa asam organik alami yang berasal dari humus, larut dalam air, sering ditemukan dalam air permukaan dengan berat molekul yang rendah yaitu antara rentang 1000 hingga 10.000, Bersifat larut dalam air

pada semua kondisi pH dan akan berada dalam laurtan setelah proses penyisihan asam humat melalui proses asidifikasi. Warnanya bervariasi mulai dari kuning sampai kuning kecoklatan.

#### c. Humin

Kompleks humin dianggap sebagai molekul paling besar dari senyawa humus karena rentang berat molekulnya mencapai 100.000 sampai 10.000.000. Sedangkan sifat kimia dan fisika humin belum banyak diketahui (Fitria and Handayani 2008)

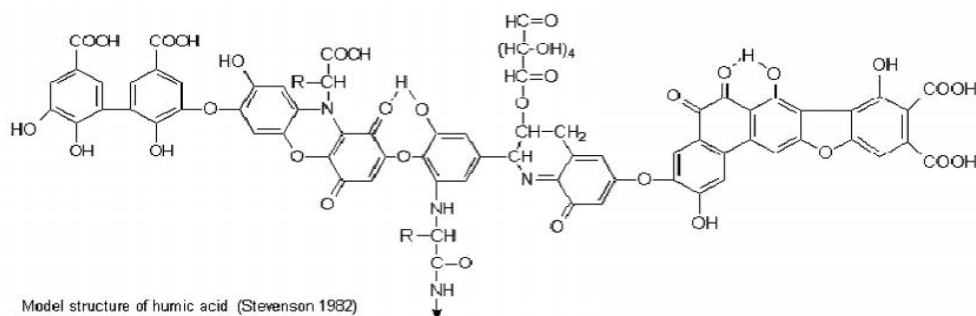
#### B. Asam Humat

Asam humat atau humus dapat didefinisikan sebagai hasil akhir dekomposisi bahan organik oleh organisme secara aerobik. Asam humat merupakan bahan makromolekul polielektrolit yang memiliki gugus fungsional seperti  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{OH}$  fenolat maupun  $-\text{OH}$  alkoholat sehingga asam humat memiliki peluang untuk membentuk kompleks dengan ion logam karena gugus ini dapat mengalami deprotonasi pada pH yang relatif tinggi (Ariyanto 2006).

Ikutannya dengan ion logam adalah salah satu peranan yang penting dari fungsi asam humat sebagai adsorben. asam humat merupakan senyawa humat yang tidak larut dalam air pada kondisi asam tetapi larut pada kondisi pH yang tinggi. Fungsional utama yang terdapat pada asam humat adalah asam karboksilat, alkohol, fenol, karbonil, fosfat, sulfat, amida, dan sulfide. Asam humat mempunyai berat molekul yang tinggi yaitu 10.000-100.000 g/mol. Ciri-ciri dari asam humat ini antara lain (Kusnaedi 2010):

1. Merupakan bagian dari humus yang bersifat tidak larut dalam air pada kondisi  $\text{pH} < 2$  tetapi larut pada pH yang lebih tinggi.

2. Bisa diekstraksi dari tanah dengan bermacam reagen dan tidak larut dalam larutan asam.
3. Asam humat adalah bagian yang paling mudah diekstrak di antara komponen humus lainnya.
4. Mempunyai warna yang bervariasi mulai dari coklat pekat sampai abu-abu pekat.
5. Humus tanah gambut mengandung lebih banyak asam humat.
6. Asam humus merupakan senyawa organik yang sangat kompleks, yang secara umum memiliki ikatan aromatik yang panjang dan *nonbiodegradable* yang merupakan hasil oksidasi dari senyawa lignin (gugus fenolik).



Gambar 2 struktur asam humat

### C. Fotokatalis

Menurut Miyake dkk (2015) dalam jurnal (Suchaya, Permatasari et al. 2016) Fotokatalis merupakan gabungan antara proses fotokimia dan katalis, yang mengubah energi cahaya menjadi energi kimia yang menghasilkan radikal hidroksil yang akan bereaksi dengan redoks dengan senyawa organik (polutan) sehingga air menjadi jernih, sedangkan katalis merupakan suatu substansi yang dapat mempercepat laju reaksi.

Menurut Prambasto (2013) hal ini disebabkan katalis memiliki kemampuan untuk mengadakan interaksi dengan minimal satu molekul reaktan

untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih reaktif. Selama proses reaksi berlangsung katalis akan ikut bereaksi dan pada akhir reaksi katalis dihasilkan kembali. Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa material yang digunakan sebagai katalis dalam suatu reaksi kimia dengan kemampuannya dalam menyerap foton sebagai pemicu aktivitas disebut dengan material fotokatalis. Sedangkan proses reaksi yang melibatkan material fotokatalis disebut dengan fotokatalisis.

Reaksi fotokatalisis terjadi pada permukaan partikel sehingga efektivitas reaksi fotokatalis dapat dipengaruhi oleh berbagai hal, beberapa diantaranya adalah ukuran dan bentuk partikel yang digunakan. Reaksi fotokatalisis akan efektif apabila ukuran partikel berada pada ukuran nano yaitu 1-100 nm. Semakin kecil ukuran partikel maka akan memperlebar luas permukaan partikel, sehingga interaksi antara reaktan pada permukaan partikel akan semakin besar (Naimah and Ermawati 2011). Fotokatalis tergolong kedalam material semikonduktor dengan band gap berkisar antara 1-3 eV. Secara umum, fotokatalis dapat terbagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Fotokatalis homogen yang melibatkan katalis, medium, dan reaktan berada dalam satu fasa, umumnya katalis berupa suatu oksidator seperti ozon dan hidrogen peroksida.
2. Fotokatalis heterogen dimana proses ini melibatkan katalis yang tidak satu fasa dengan medium dan reaktan, umumnya katalis berupa semikonduktor seperti tembaga oksida (CuO), titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) dan (ZnO<sub>2</sub>) sebagai katalis.

Fotokatalis tergolong ke dalam material semikonduktor dengan *band gap* berkisar antara 1-3 eV. *Band gap* merupakan celah energi yang berada di antara pita valensi dan pita konduksi. Sementara energi minimum yang dibutuhkan elektron untuk mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi disebut energi *band gap* (Pap 2012) Fotokatalis banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, antara lain penjernihan air, sel surya, disinfektan, serta penghasil gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dari fotodekomposisi H<sub>2</sub>O (Lee and Park 2013).

Material fotokatalis yang sering digunakan antara lain: oksida logam (TiO<sub>2</sub>, ZnO, WO<sub>3</sub>), dan senyawa sulfida (CdS, ZnS). Kemampuan fotokatalisis suatu material semikonduktor sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu derajat kristalinitas, serta ukuran partikel zat. Ukuran dari partikel semikonduktor juga memegang peran penting dalam menentukan aktivitas katalitik dari senyawa semikonduktor. Umumnya, senyawa dengan ukuran partikel lebih kecil memiliki aktivitas fotokatalitik lebih baik karena proses transfer muatan ke sisi aktif dari permukaan semikonduktor akan lebih cepat (Ismail and Bahnemann 2014). Ketika fotokatalis terkena sinar atau cahaya, sejumlah energi berupa foton akan diserap. Peyerapan energi foton tersebut mengakibatkan eksitasi elektron pada pita valensi ke pita konduksi. Sumber foton untuk aktivasi fotokatalis dapat berasal dari lampu maupun sumber cahaya alami seperti cahaya matahari.

Sinar matahari terdiri dari 3-5% sinar UV, 45% sinar tampak, dan sisanyanya adalah sinar infra merah. Pada dasarnya, banyak material fotokatalis yang memiliki *band gap* > 3 eV atau hanya dapat bekerja di bawah radiasi sinar ultra violet (UV). Efisiensi maksimum dari fotokatalis tersebut tentunya cukup rendah (maksimal 5%) apabila dibandingkan dengan fotokatalis yang bekerja pada

daerah sinar tampak (Lee and Park 2013). Efisiensi maksimum dan aktifitas fotokatalitik dari material fotokatalis dapat ditingkatkan dengan cara memperkecil *band gap* sehingga material fotokatalis dapat bekerja pada rentang panjang gelombang sinar tampak.

#### D. Fotokatalis TiO<sub>2</sub>

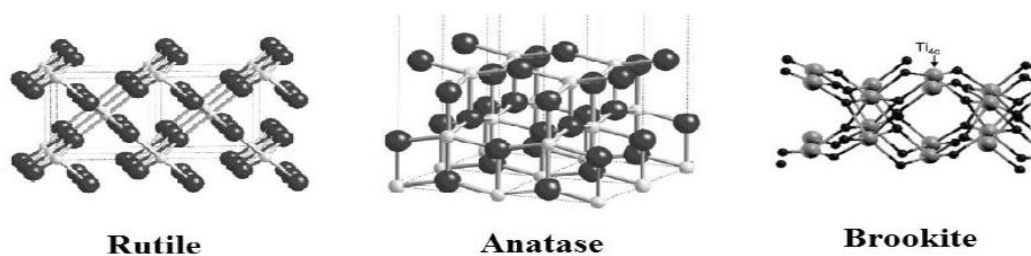
Fotokatalis adalah reaksi kimia yang berjalan dengan bantuan katalis dan katalis tersebut aktif ketika disinari cahaya matahari. Untuk mengaktifkan katalis TiO<sub>2</sub> dibutuhkan energi foton dengan panjang gelombang yang kecil. Material fotokatalis yang banyak menjadi fokus riset para peneliti dunia adalah Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>). Menurut Abdullah (2011) dalam jurnal (Tussa'adah 2015) TiO<sub>2</sub> merupakan senyawa dioksida berwarna putih yang tahan karat dan tidak beracun dan juga merupakan salah satu katalis yang paling stabil, paling sering digunakan dibandingkan dengan katalis lainnya. Pada suhu ruang, TiO<sub>2</sub> berwujud padat dengan massa jenis 4.26 g/cm<sup>3</sup>. TiO<sub>2</sub> dikenal sebagai material semikonduktor dan banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang antara lain sebagai sensor, material fotokatalis, bahan kosmetik, hingga pigmen pada industri cat.

Semikonduktor fotokatalisis menggunakan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis telah dilakukan untuk memecahkan berbagai masalah lingkungan, antara lain untuk pemurnian air dan udara, destruksi mikroorganisme seperti bakteri dan virus dalam aktivasi sel kanker, degradasi zat warna dan senyawa kimia beracun serta pembuatan gas hidrogen dari air (Rahmawati, Wahyuningsih et al. 2013). Titanium dioksida atau dikenal dengan Titania, yang secara alami merupakan oksida dari titanium. Menurut Smith (2010) dalam jurnal (Sucahya, Permatasari et al. 2016) Beberapa keunggulan yang dimiliki titania, diantaranya: memiliki sifat



optik yang baik, tidak beracun, harganya murah, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik, semikonduktor dengan bandgap yang lebar, ketersediaan yang melimpah, tidak larut dalam air memiliki permukaan yang luas, stabilitas mekanik dan termal yang tinggi, dan ramah lingkungan (Smith, Mao et al. 2010). Titania memiliki tiga jenis bentuk kristal, diantaranya: rutil, anatase, dan brookite

Diantara ketiganya, umumnya titania berada dalam bentuk rutil dan anatase yang keduanya berstruktur tetragonal yang secara termodinamika anatase lebih stabil daripada rutil. Titania dalam bentuk anatase adalah titania yang paling baik digunakan sebagai fotokatalis UV, karena titania hanya dapat menyerap sinar UV yang kelimpahannya sedikit di alam (Mano, Nishimoto et al. 2015) Oleh karena itu memerlukan suatu usaha untuk mengefisiensikan titania sebagai fotokatalis dalam pengolahan limbah yang membutuhkan energi yang cukup tinggi ini.



Gambar 3 bentuk  $\text{TiO}_2$

$\text{TiO}_2$  anatase memiliki struktur tetragonal. Fasa anatase lebih stabil dibanding dengan fasa rutil pada suhu °K. Fasa anatase merupakan fasa stabil dan dapat berubah ke fasa rutil apabila dipanaskan pada suhu tertentu.  $\text{TiO}_2$  anatase dapat dipreparasi menggunakan metode sol-gel dan merupakan fasa  $\text{TiO}_2$  yang banyak diaplikasikan sebagai material fotokatalis karena sifat optisnya yang baik (Stepanov, Xiao et al. 2013).

Energi *band gap* adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Ketika suatu semikonduktor dikenai energi yang sesuai dengan energi celah pita, maka electron akan tereksitasi ke pita konduksi sehingga meninggalkan muatan positif yang disebut *hole*. Sebagian besar dari pasangan elektron-hole tersebut akan bertahan di permukaan semikonduktor, sehingga *hole* dapat bekerja dengan menginisiasi reaksi oksidasi dan elektron menginisiasi reaksi reduksi senyawa kimia yang ada disekitar permukaan TiO<sub>2</sub>. Prinsip reaksi tersebut yang digunakan sebagai dasar untuk menghasilkan senyawa reaktif dalam mendegradasi limbah polutan organik maupun sebagai desinfektan mikroorganismenya dalam air (Dahlan, Maddu et al. 2012). Perbedaan energi gap (E<sub>g</sub>) dipengaruhi oleh lingkungan kristal masing-masing atom penyusun kristalnya, yaitu penyusunan atom Ti dan O dalam kristal TiO<sub>2</sub> yang orientasinya berbeda satu sama lain, misalnya struktur anatase memiliki energi *band gap* (E<sub>g</sub>) sebesar 3,2 eV dan rutil sebesar 3,0 eV (Riyani, Setyaningtyas et al. 2012).

Keterbatasan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis terletak pada energi *band gap* yang besarnya 3,2 eV, dimana energi *band gap* sebesar itu memerlukan penyinaran sinar ultraviolet untuk menginisiasi proses fotokatalitik. Oleh karena itu, pergeseran respon optis TiO<sub>2</sub> ke daerah spektrum sinar tampak akan memberikan efek yang positif untuk berbagai aplikasi fotokatalitik. Modifikasi terhadap fotokatalis TiO<sub>2</sub> yang dapat menggunakan sinar tampak untuk aktivasinya akan menghilangkan keterbatasan dari penggunaan TiO<sub>2</sub> untuk mendegradasi polutan organik. Sehingga saat ini sedang dikembangkan fotokatalis titanium dioksida

yang dapat secara efisien menggunakan sinar matahari atau cahaya dalam ruangan (Anpo and Takeuchi 2003).

Efisiensi dari  $\text{TiO}_2$  dapat ditingkatkan dengan menurunkan energi *band gap*  $\text{TiO}_2$ , yaitu menambahkan dopan seperti Cr, Fe, Co, Mo, N dan C. Nitrogen merupakan dopan yang cukup efektif karena ukurannya yang tidak jauh berbeda dengan oksigen dan energi ionisasinya yang kecil.

#### E. Metode Sol Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang paling sukses dalam mempersiapkan material oksida logam berukuran nano, yaitu dengan penabahanbahan yang dilakukan pada saat matriks berbentuk sol kemudian menuju ke arah pembentukan padatan (gel) bersamaan dengan terbentuknya padatan pendukung (Sriyanti, Taslimah et al. 2005). Sol adalah suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk padat dan fasa pendispersinya berbentuk cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoksi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis (Laokul, Arthan et al. 2015).

Gel (*gelation*) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energi ikat lebih rendah. Reaksinya adalah reaksi kondensasi, baik alkohol atau air, yang menghasilkan *oxygen bridge* (jembatan oksigen) untuk mendapatkan metal oksida (Laokul, Arthan et al. 2015).

Metode sintesis menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbeda-beda bergantung prekursor dan bentuk produk akhir, baik itu berupa powder, film, aerogel, atau serat. Struktur dan sifat fisik gel sangat bergantung pada beberapa hal, diantaranya:

- a) Pemilihan bahan baku material
- b) Laju hidrolisis dan kondensasi
- c) Modifikasi kimiawi dari sistem sol-gel.

Metode sol gel memiliki keuntungan antara lain Mudah dalam kontrol komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik), Temperatur proses rendah, Biaya murah, Tidak terjadi reaksi dengan senyawa sisa, Mengurangi pencemaran udara.

Metode sol-gel dikenal sebagai salah satu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu “*wet method*” atau metode basah karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar daripada sol (Wei, Chen et al. 2010).

#### F. *Dip Coating*

*Dip coating* merupakan salah satu metode tertua yang digunakan untuk membuat lapisan tipis. Metode *dip coating* pertama kali dipatenkan oleh Jenaer Glaswerk Schott & Gen pada tahun 1939 untuk membuat lapisan tipis (film) dari silika. Kini, metode sol-gel telah diaplikasikan dalam pembuatan membran, sensor, dan pelapisan anti korosi (Brinker and Hurd 1994)

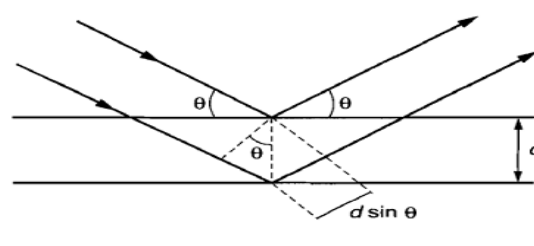
Pada proses *dip coating*, substrat atau bahan yang akan dilapisi dimasukkan secara vertikal ke dalam wadah berisi zat pelapis dengan kecepatan penarikan

konstan. Penarikan substrat dari larutan dengan viskositas tinggi akan membentuk lapisan yang ketebalannya bergantung pada kecepatan penarikan dan pencelupan. Setelah terjadi penguapan pelarut dan pengeringan, maka lapisan tipis akan terbentuk pada permukaan substrat (Kim, Hahn et al. 2002).

#### G. X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X merupakan suatu metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik sinar-X yaitu pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal. Penghamburan sinar-X oleh unit-unit pada kristal, akan menghasilkan pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pada pola padatan (Auda, Mrestani et al. 2009).

Metode XRD didasarkan pada fakta bahwa pola difraksi sinar-X untuk masing-masing material kristalin adalah karakteristik. Dengan demikian, bila pencocokan yang tepat dapat dilakukan antara pola difraksi sinar-X dari sampel yang tidak diketahui dengan sampel yang telah diketahui, maka identitas dari sampel yang tidak diketahui itu dapat diketahui (Skoog and Leary 1992).



Gambar 4 proses pembentukan puncak XRD

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor, kemudian diterjemahkan

sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang sama terdapat dalam sampel, semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu puncak bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi (Auda, Mrestani et al. 2009)

#### H. Spektrofotometri Ultraviolet-Visibel (UV-Vis)

Spektrofotometri UV-Vis merupakan salah satu teknik analisis spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat pada panjang gelombang (190-380) dan sinar tampak pada panjang gelombang (380-780) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Prinsip dari UV-Vis berdasarkan interaksi antara materi dengan cahaya, cahaya yang dimaksud berupa ultraviolet (UV) dan cahaya visibel (Vis), sedangkan materi dapat berupa atom dan molekul yang lebih berperan adalah elektron valensi (Mulja and Suharman 1995).

Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Daerah spektrum UV terletak sekitar 10 nm – 380 nm, tetapi paling banyak penggunaannya secara analitik dari 200 – 380 nm dan disebut sebagai UV pendek (dekat). Dibawah 200 nm, udara dapat mengabsorpsi sehingga instrumen harus dioperasikan pada kondisi vakum, daerah ini disebut dengan daerah UV vacuum (Ndani 2016).

Fungsi masing-masing bagian spektrofotometer

1. Sumber cahaya berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Pada UV-Vis sumber cahaya menggunakan photodiode yang telah dilengkapi monokromator.

2. Monokromator berfungsi sebagai penyeleksi panjang gelombang yaitu mengubah cahaya yang berasal dari sumber sinar polikromatis menjadi cahaya monokromatis.
3. Jenis monokromator yang saat ini banyak digunakan adalah grating atau lensa prisma dan filter optik. Jika digunakan grating maka cahaya akan dirubah menjadi spektrum cahaya. Sedangkan filter optik berupa lensa berwarna sehingga cahaya yang diteruskan sesuai dengan warna lensa yang terkena cahaya
4. Sel sampel berfungsi sebagai tempat meletakkan sampel. UV-Vis menggunakan kuvet sebagai tempat sampel..
5. Detektor berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Syarat-syarat sebuah detektor : Kepekaan yang tinggi, Perbandingan isyarat atau signal dengan bising tinggi, Respon konstan pada berbagai panjang gelombang. Macam-macam detektor yang sering digunakan detektor foto (photo detector), photocell, phototube, hantaran foto, dioda foto, dan detektor panas.
6. Read out (pembaca) merupakan suatu sistem baca yang menangkap besarnya isyarat listrik yang berasal dari detektor (Ndani 2016).

## **BAB V PENUTUP**

### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembuatan lapis tipis titania ( $\text{TiO}_2$ ) dengan metode solgel dan dip coating dilakukan dengan kalsinasi selama 30 menit pada suhu  $500^\circ\text{C}$  dilakukan pengujian XRD yang didapatkan kristal anatase dan ukuran kristal pada sudut difraksi ( $2\theta$ ) 26,65nm.
2. Kemampuan fotokatalis titania ( $\text{TiO}_2$ ) dalam fototransfomasi asam humat didapatkan penurunan konsentrasi degradasi terbaik yaitu 59.82% pada 2 lapisan titania ( $\text{TiO}_2$ ) pada waktu 24 jam dengan suhu kalsinasi  $500^\circ\text{C}$  dengan 8,06 ppm.

### B. Saran

Melakukan penelitian semikonduktor titania ( $\text{TiO}_2$ ) dengan konsentrasi titania yang berbeda seperti 1M, dan mengaplikasikannya pada air gambut.



## KEPUSTAKAAN

- Agus, F. and I. M. Subiksa (2008). "*Lahan Gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan.*" Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor.
- Almu'minin, A. S. "*sintesis dan karakterisasi film lapis tipis tio<sub>2</sub> sebagai pendegradasi pewarna tekstil procion red mx-8b.*"
- Andayani, W. and A. N. Bagyo (2011). "*TiO<sub>2</sub> beads for photocatalytic degradation of humic acid in peat water.*" Indonesian Journal of Chemistry **11**(3): 253-257.
- Anpo, M. and M. Takeuchi (2003). "*The design and development of highly reactive titanium oxide photocatalysts operating under visible light irradiation.*" Journal of catalysis **216**(1-2): 505-516.
- Ariyanto, D. (2006). "*Ikatan antara asam organik tanah dengan logam.*" Karya Ilmiah Pasca Sarjana Ilmu Tanah. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Arutanti, O., M. Abdullah, K. Khairurrijal and H. Mahfudz (2009). "*Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>).*" Jurnal Nanosains & Nanoteknologi: 53-55.
- Auda, S. H., Y. Mrestani, A. M. Ahmed and R. H. Neubert (2009). "*Characterization of the interaction of cefadroxil with different metal ions using CE.*" Electrophoresis **30**(6): 1066-1070.
- Brinker, C. J. and A. J. Hurd (1994). "*Fundamentals of sol-gel dip-coating.*" Journal de Physique III **4**(7): 1231-1242.
- Chaharmahali, A. R. (2012). "*The effect of TiO<sub>2</sub> nanoparticles on the surface chemistry, structure and fouling performance of polymeric membranes.*" Sydney: The University of New South Wales.
- Dahlan, K., A. Maddu, K. T. Wigati and N. R. Mubarik (2012). "*Inaktivasi Fotoelektrokatalisis Escherichia Coli Menggunakan Elektroda TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>.*" Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung **5**(2).
- Fernandez, B. R. (2011). "*Sintesis Nanopartikel.*" Padang: Universitas Andalas.
- Goldstein, J., D. Newbury, P. Echlin, D. Joy, C. Fiori and E. Lifshin (1981). "*Scanning electron microscopy and X-ray analysis. A text for biologists, material scientists and geologists,* Plenum Press: New York & London.
- Indonesia, M. K. R. (2010). "*Peraturan Menteri Kesehatan Persyaratan Kualitas Air Minum,* Jakarta.