

**FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN
TiO₂ DOPING Cu SEBAGAI KATALIS**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



OLEH:

RAHMA ZILA

15036029/2015

PROGRAM STUDI KIMIA

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2019

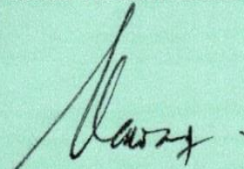
PERSETUJUAN SKRIPSI

FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN TiO_2 DOPING Cu SEBAGAI KATALIS

Nama : Rahma Zila
NIM : 15036029
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

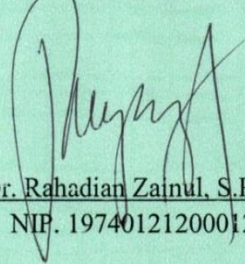
Padang, Juli 2019

Mengetahui:
Ketua Jurusan Kimia



Dr. Mawardi, M.Si.
NIP. 19611123198903100

Disetujui oleh:
Dosen pembimbing



Dr. Rahadian Zainul, S.Pd, M.Si.
NIP. 197401212000121001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Rahma Zila
NIM : 15036029
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

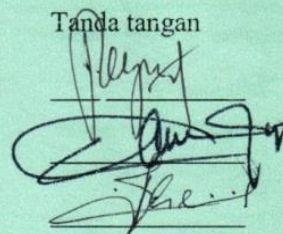
FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN TiO_2 DOPING Cu SEBAGAI KATALIS

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

Padang, Juli 2019

Tim Penguji	Nama
Ketua :	Dr. Rahadian Zainul, S.Pd, M.Si.
Anggota :	Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D.
Anggota :	Dra. Syamsi Aini, M.Si., Ph.D.

Tanda tangan



FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN TiO_2 DOPING Cu SEBAGAI KATALIS

Rahma Zila

ABSTRAK

Asam humat merupakan senyawa organik heterogen yang memiliki tingkat keasaman yang tinggi sehingga sulit untuk terdegradasi. salah satu cara yang digunakan untuk mengolah asam humat yaitu dengan fototransformator. Fototransformator adalah suatu metoda degradasi asam humat dengan fotokatalis, katalis yang digunakan pada penelitian ini yaitu TiO_2 doping Cu 5%. Pendopingan dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel, dimana pada metode sol-gel akan mengalami beberapa tahap yaitu proses pembentukan sol-gel dari monomer prekursor. Prekursor yang digunakan yaitu Titanium (IV) tetra isopropoksida ($\text{Ti}(\text{OCH}(\text{CH}_3)_2\text{CHOH})_4$), selanjutnya akan mengalami proses pematangan dan pemanasan, Pemanasan dilakukan pada suhu 400°C . katalis TiO_2 doping Cu yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD dan UV-DRS kemudian diaplikasikan untuk degradasi asam humat pada air gambut. Analisis XRD yang dilakukan terhadap katalis TiO_2 doping Cu sebanyak 5% menghasilkan struktur berbentuk anatase sedangkan energi *band gap* yang dihasilkan dari analisis UV-DRS yaitu 2,32 eV, katalis yang telah dianalisis kemudian diaplikasikan untuk deradasi asam humat, proses degradasi menggunakan reaktor mobile dengan Variasi kecepatan perputaran yaitu 500,1000 dan 1500 rpm. Proses degradasi asam humat dengan menggunakan fotokatalis dilakukan di bawah sinar matahari langsung (luar ruangan) karena luks cahaya yang dihasilkan lebih banyak dibanding dalam ruangan. Luks cahaya matahari di ukur dengan menggunakan *light sensor* pada bagian depan dan belakang reaktor. Proses degradasi asam humat dilakukan dengan variasi 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam, Pengukuran absorbansi sebelum dan sesudah proses degradasi dapat dilakukan dengan metode spektrofotometri UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen degradasi yang tertinggi yaitu pada kecepatan perputaran 1500 rpm dengan waktu 2 jam sebanyak 69.18%.

Kata kunci : Asam Humat, fotokatalis, TiO_2 doping Cu

Phototransformer of Doping Cu TiO₂ for Humic Acid Degradation in Peat Water applications

Rahma Zila

ABSTRACT

Humic acid is a heterogeneous organic compound that has a high acidity level making it difficult to degrade. one method used to process humic acid is by phototransformer. Phototransfomator is a method of degradation of humic acid with a photocatalyst, the catalyst used in this study was 5% Cu doping TiO₂. The extraction was done using the sol-gel method, where in the sol-gel method there will be several stages, namely the process of sol-gel formation from precursor monomers. The precursors used were Titanium (IV) tetra isopropoxide (Ti(OCH(CH₃)₂CHOH), then undergoing a ripening and heating process. Heating was carried out at 4000C. Synthesized Cu doping TiO₂ catalysts were then characterized using XRD and UV-DRS later. applied to the degradation of humic acid in peat water. XRD analysis performed on 5% Cu doping TiO₂ catalyst resulted in an anatase-shaped structure while the band gap energy produced from UV-DRS analysis was 2.32 eV, the catalyst analyzed and then applied to derating humic acid, the degradation process using a mobile reactor with Variations in rotation speed are 500,1000 and 1500 rpm. The process of degradation of humic acid by using a photocatalyst is carried out in direct sunlight (outdoor) because more light is produced than in the room. Luks sunlight is measured by using a light sensor on the front and back of the reactor. The degradation process of humic acid was carried out with variations of 1 hour, 2 hours, 3 hours, 4 hours and 5 hours. The absorbance measurements before and after the degradation process can be carried out by UV-Vis spectrophotometry method. The results showed that the highest percent degradation was at a rotation speed of 1500 rpm with a time of 2 hours as much as 69.18%.

Keywords: Humic Acid, photocatalyst, Cu doped TiO₂

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian yang berjudul “FOTOTRANSFORMASI ASAM HUMAT MENGGUNAKAN TiO_2 DOPING Cu SEBAGAI KATALIS “. skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana sains.

Penulisan skripsi 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 akademik
2. Bapak Ananda Putra, M.Si., Ph.D dan Ibu Dra. Syamsi Aini M.Si., Ph.D sebagai Dosen Pembahas
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 dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang
6. Orang tua dan Teman-teman kimia 2015.

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, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A.Latar Belakang.....	1
B.Rumusan Masalah.....	3
C.Batasan Masalah	4
D.Tujuan penelitian	4
E.Manfaat penelitian.....	4
BAB II KERANGKATEORI.....	Error! Bookmark not defined.
A.Air gambut	6
B.Asam Humat	7
1 Defenisi dan struktur kimia asam humat.....	7
2 karakteristik asam humat	8
3 Fototransformasi asam humat	8
C.Fotokatalis.....	9
D.Fotokatalis TiO ₂ doping Cu	12
F. Semikonduktor.....	11
E.Metode Sol-Gel	17
F.Karakterisasi TiO ₂ di doping Cu	20
G.X-Ray diffraction (XRD)	20
H.spektrofotometer UV-Vis	21
I.Fourier Transform Infra Red (FTIR)	22
J.Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS).....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
A.Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
B.Objek dan Subjek Penelitian:.....	24
C. Variabel Penelitian.....	20

D. Alat dan Bahan	24
D.Prosedur Kerja	Error! Bookmark not defined.
E. Desain Penelitian.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
A.Hasil Sintesis Katalis TiO ₂ Doping Cu 5 %	31
B.Difragtogram TiO ₂ Didoping Cu 5% pada suhu kalsinasi 400 ⁰ C	33
C. <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-DRS)</i>	35
D.Fototransformator Asam Humat dengan.....	36
Menggunakan Reaktor Mobile	36
1. Fototranformator Asam Humat menggunakan Katalis TiO ₂ doping Cu 5% pada suhu kalsinasi 400 °C.....	31
2 Fototranformator Asam Humat Tanpa menggunakan katalis TiO ₂ doping Cu 5 % suhu kalsinasi 400 °C	40
E.Karakteristik Asam Humat Sebelum dan Sesudah Degradasi dengan FTIR.....	41
BAB V PENUTUP.....	45
A.kesimpulan	45
B.Saran	46
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1 Struktur asam humat menurut Dragunov's	8
2 Mekanisme Fotokatalis	11
3 Stuktur TiO ₂ anatas, brookite dan rutile.....	14
4 Desain Reaktor Fotokatalis	26
5 fototransformasi asam humat dalam ruangan (A) menggunakan katalis TiO ₂ doping Cu 5% suhu kalsinasi 400 °C. (B) menggunakan katalis TiO ₂ doping Cu 5% suhu kalsinasi 500 °C.	31
6 A. Difraktogram TiO ₂ doping Cu dengan konsentrasi dopan 5% dengan suhu kalsinasi 400°C B. Difraktogram TiO ₂ . C Difraktogram Cu Nanopowder	34
7 Grafik nilai band gap TiO ₂ doping Cu 5 % suhu kalsinasi 400 °C.....	36
8 Aktivitas fototransformasi asam humat menggunakan katalis TiO ₂ doping Cu 5%.....	38
9Aktivitas fototransformasi asam humat tanpa menggunakan katalis TiO ₂ doping Cu 5%	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1Skema Sintesis TiO ₂ Doping Cu dengan menggunakan metoda sol gel.....	53
2 Skema penentuan efisiensi TiO ₂ doping Cu.....	54
3 pembuatan larutan asam humat 20 ppm.....	54
4 Perhitungan	55
5 Pengolahan data XRD	53
6 Perhitungan degradasi asam humat.....	55
8 Dokumentasi Hasil Penelitian	62

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu tipe ekosistem penting yang terdapat di Indonesia adalah lahan gambut. Lahan gambut merupakan bagian dari sumberdaya alam yang terbentuk dari proses pelapukan tumbuhan secara alami sehingga kaya akan kandungan senyawa organik serta kandungan air yang tinggi. Lahan gambut meliputi area seluas 14,9 juta ha di Indonesia yang sebagian besar didistribusikan di Kalimantan, Sumatera, Papua dan Sulawesi (Maftu'ah *et al.*, 2014).

Berdasarkan penelusuran literatur pada *pubmed* dengan menggunakan *endnote*, ada 600 riset tentang lahan gambut yang dikembangkan di dunia, setidaknya terdapat 47 riset yang diteliti di Indonesia, 6 diantaranya terdapat di Sumatera yang diteliti oleh Buckley, B.J. (2015) Gaveau, D.L., (2014) Miettinen, J. (2017) Wijedasa, L. S., (2018) Wiggins, E.B., (2018) dan Neoh, K.B. (2016). Lahan gambut memiliki peranan yang penting bagi suatu wilayah, karena secara alami berfungsi sebagai cadangan (reservoir) air dengan kapasitas yang sangat besar, akan tetapi air di daerah gambut ini tidak memenuhi kesehatan baik dari segi fisik, mikrobiologis maupun kimia karena mengandung bahan organik yang berbahaya sehingga tidak dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari (Zykova maria *et al.*, 2018). Air gambut memiliki ciri-ciri yaitu mempunyai kadar pH yang rendah (3-4) sehingga bersifat sangat asam, memiliki kadar organik yang tinggi

kadar besi dan mangan tinggi, serta berwarna kuning hingga coklat akibat tingginya senyawa humat (asam humat dan asam fulvat). (Kuokkanen V *et al.*,2015).

Riset tentang degradasi asam humat pada air gambut telah menarik minat banyak peneliti dunia dengan menggunakan berbagai macam metoda, berdasarkan literatur *pubmed* dengan menggunakan aplikasi *endnote* ditemukan sekitar 13 riset menggunakan metoda koagulasi, beberapa diantaranya diteliti oleh Cheng, W. P (2004) Duan, J. (2012) dan Wu, Y (2010), selain dengan menggunakan metoda koagulasi degradasi asam humat juga dapat dilakukan dengan menggunakan metoda adsorpsi yang diteliti oleh Yang,W (2016) akan tetapi penghilangan zat humat terbatas karena berat molekulnya tinggi (Jung *et al.*,2009), kuokkanen (2015) juga melakukan pengolahan air gambut yang mengandung asam humat dan senyawa organik lainnya dengan cara elektrokoagulasi yang mampu mengurangi kandungan zat warna dari air gambut akan tetapi biaya logam material dan listrik yang digunakan relatif mahal (kuokkanenV*etal.*,2015).

Penelitian ini menggunakan katalis TiO₂ karena mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti tingginya sifat pengoksidasi, stabil secara fisika dan kimia, tersedia luas, tidak beracun dan mempunyai aktivitas tinggi (Laysandra Livy *et al.*,2017). TiO₂ memiliki tiga struktur kristal utama, yaitu anatase, rutil, dan brookite dengan *band gap* berkisar antara 3.0 - 3.2 eV (Madjene *et al.*, 2013), sehingga katalis TiO₂ hanya bekerja pada daerah UV (< 415 nm) (Fujishima *et al.*, 2007), Namun, dengan menggunakan radiasi sinar UV akan memakan biaya yang relatif mahal.

Belakangan ini, beberapa peneliti memfokuskan pada degradasi fotokatalis menggunakan TiO_2 di bawah energi matahari untuk menghilangkan senyawa organik, Sementara sinar matahari hanya terdiri dari sinar UV dalam jumlah kecil, yaitu hanya 3-5% saja (Yau, 2013), Oleh karena itu dilakukan pendopingan untuk memperkecil *band gap*, meningkatkan sifat optis dan fotokatalitik dari TiO_2 agar dapat diaplikasikan pada panjang gelombang sinar tampak, Agen pendoping yang diketahui dapat meningkatkan sifat optis dan fotokatalitik dari TiO_2 adalah ion tembaga (Cu^{2+}) karena tembaga tersebut merupakan salah satu unsur logam transisi yang jumlahnya melimpah di bumi serta memiliki jari-jari ion Cu^{2+} (0,68 Å) yang hampir mendekati jari-jari Ti^{4+} yaitu (0,74 Å) sehingga dapat bergabung dalam kristal TiO_2 (Hernandez *et al.*, 2017). Pendopingan dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel untuk mempermudah preparasi dalam mensintesis material yang berukuran kecil, selain itu metode sol-gel juga mudah dalam kontrol komposisi kimia, mempunyai stabilitas panas yang baik, dapat dilakukan pada suhu rendah dan biaya yang relatif murah.

Berdasarkan latar belakang di atas maka peneliti mengangkat judul tentang desain dan rekayasa fototransformator TiO_2 doping Cu untuk pengolahan Asam humat pada aplikasi air gambut.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain fototransformator TiO_2 doping Cu untuk asam humat?

2. Bagaimana mensintesis katalis TiO_2 doping Cu?
3. Bagaimana efisiensi fotokatalis TiO_2 didoping Cu untuk mendegradasi asam humat pada air gambut?
4. Bagaimanakah pengaruh fototransformasi dari fotokatalis TiO_2 doping Cu dalam aktivitas asam humat?

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dapat dirumuskan dari penelitian tersebut yaitu

1. Material Fotokatalis yang digunakan yaitu TiO_2 doping Cu 5% pada suhu kalsinasi 400°C
2. Waktu degradasi asam humat dimulai dari 1 jam sampai 5 jam
3. Metode yang digunakan untuk preparasi fotokatalis adalah metode sol-gel
4. Kecepatan perputaran yang digunakan yaitu 500, 1000, 1500 rpm
5. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari diluar ruangan

D. Tujuan penelitian

1. Menentukan cara desain reaktor untuk degradasi asam humat
2. Menentukan cara sintesis katalis TiO_2 doping Cu
3. Menentukan kemampuan fotokatalis dengan kecepatan perputaran stirrer 500, 1000, 1500 rpm menggunakan fotokatalis TiO_2 doping Cu dalam fototransformasi asam humat
4. Menentukan kemampuan fototransformasi asam humat dengan kecepatan perputaran 500, 1000 dan 1500 rpm tanpa menggunakan katalis TiO_2 doping Cu.

E. Manfaat penelitian

1. Memberikan desain reaktor fotokatalis TiO_2 doping Cu

2. Memberikan sintesis katalis TiO_2 doping Cu dengan metode sol-gel
3. Dapat memberikan pengaruh fotokatalis TiO_2 doping Cu untuk fototransformasi asam humat
4. Dapat memberikan informasi degradasi asam humat tanpa menggunakan fotokatalis TiO_2 doping Cu

BAB II

KERANGKA TEORI

A. Air gambut

Air gambut banyak terdapat di daerah berawa dan dataran rendah. Air gambut biasanya sedikit asam dan berwarna, serta mengandung zat organik yang tinggi seperti asam humat (Kuokkanen V *et al.*,2015). Air gambut mempunyai warna coklat kehitaman disebabkan adanya kandungan senyawa organik yang berasal dari proses dekomposisi rawa. Senyawa organik tersebut dapat berasal dari senyawa humat, senyawa ligin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tanin, resin, suberin, protein dan senyawa lainnya.

Lahan gambut umumnya mempunyai tingkat keasaman yang relatif tinggi dengan kisaran pH 3-5. Komposisi zat organik pada air gambut didominasi oleh senyawa humat yang memiliki ikatan aromatik kompleks yang memiliki gugus fungsional seperti $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ fenolat maupun $-\text{OH}$ alkohol dan bersifat nonbiodegradable. Sifat ini juga menyebabkan sebagian besar organik pada air gambut sulit terurai secara alamiah sehingga dapat menyebabkan warna gelap pada air (Kuokkanen V *et al.*,2015). Kandungan organik pada air berpotensi membentuk senyawa karsinogenik antara lain THM (*Trihalomethane*) pada proses desinfeksi dengan klor. Asam humat yang memiliki berat molekul 2.000-100.000 dalton memiliki potensi untuk membentuk organoklorin seperti THM dan HAA (*haloacetic acid*) relatif lebih besar daripada senyawa non humus (Zouboulis A.I *et al.*,2004).

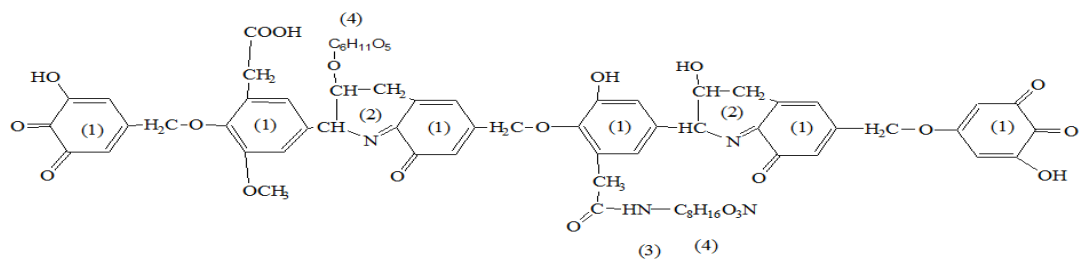
Air gambut banyak terdapat di daerah Sumatera dan Kalimantan. Kandungan terbesar dari air gambut yaitu asam humat, asam fulvat dan karbon organik terlarut (DOC), (Clark *et al.*, 2018).

B. Asam Humat

1 Definisi dan struktur kimia asam humat

Asam humat merupakan senyawa organik heterogen yang memiliki berat molekul tinggi dan sulit untuk mengalami degradasi serta secara umum berwarna kuning hingga hitam. Warna ini akan semakin meningkat intensitasnya apabila terdapat logam besi yang terikat pada asam organik tersebut. Asam humat merupakan komponen utama dari material organik tanah, gambut, batu bara, sedimen dan bahan organik terlarut. Struktur dari asam humat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, konsentrasi dan kekuatan ion. Zat humat terutama asam humat dan asam fulvat adalah senyawa organik yang sering ditemukan di lingkungan. Asam humat adalah konstituen terbesar yang ditemukan dari bahan organik tanah (60-80%) serta asam humat banyak terlibat dalam proses biologis di tanah seperti nutrisi tanaman, degradasi dan transformasi bahan kimia organik hidrofobik (Kim D *et al.*, 2018).

Stevenson 1985 menjelaskan bahwa struktur asam humat yang ditemukan oleh Flaig merupakan polimer yang terdiri dari beberapa gugus COOH, jembatan -O-, -CH₂- dan -NH=. Di alam, asam humat sering terdapat bersamaan dengan residu protein dan karbohidrat.



Gambar 1 Struktur asam humat menurut Dragunov's

2 karakteristik asam humat

Asam humat memiliki berat molekul 10.000 hingga 100.000 g/mol. Senyawa ini dapat larut dalam basa dan tidak dapat larut dalam asam. Umumnya asam humat memiliki warna mulai dari coklat hingga abu-abu. Asam humat dapat dikarakterisasi karena adanya gugus fungsional yang kaya akan oksigen seperti -COOH , fenolik/enolik -OH , alkohol -OH dan quionon -C=O (stevenson,1994).

3 Fototransformasi asam humat

Salah satu fraksi utama senyawa humat yaitu asam humat dimana asam humat ini dapat menyebabkan air gambut berwarna coklat kehitaman, sehingga perlu dilakukan suatu metoda untuk mentransnsformasikan asam humat dari air gambut tersebut. Dengan berlandaskan fakta teoritis yang dikemukakan stevenson (1985) bahwa asam humat terdiri dari gugus-gugus kaya elektron (seperti jembatan -O- , -N- , -S- dan gugus fungsional -COOH dan -OH), maka dapat diprediksi bahwa asam humat dapat bertindak sebagai donor elektron dalam reaksi fototransformasi yang dikatalisis oleh semikonduktor dalam suatu sel .

C. Fotokatalis

Sejak ditemukan pemisahan air fotokatalitik dengan menggunakan semikonduktor TiO_2 oleh fujishima tahun 1972, telah menarik minat penelitian dengan menggunakan berbagai bahan fotokatalitik yang dikembangkan dalam berbagai aplikasi seperti pemisahan air, pengolahan dan pengurangan air limbah (Bai *et al.*, 2018).

Fotokatalis adalah suatu material yang dapat mempercepat reaksi kimia dengan bantuan cahaya sebagai pengaktifasinya. Fotokatalis tergolong kedalam material semikonduktor dengan band gap berkisar antara 1-3 eV. band merupakan celah energi yang berada diantara pita valensi dan pita konduksi sedangkan energi maksimum yang dibutuhkan elektron untuk mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi disebut energi band gap. Kemampuan fotokatalisis suatu material semikonduktor sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu derajat kristalinitas, serta ukuran partikel zat.

Beberapa tahun belakangan ini telah banyak dilakukan penelitian menggunakan material semikonduktor fotokatalis diantaranya seperti, TiO_2 , ZnO , SrTiO_3 , CdS , WO_3 , ZnS , Fe_2O_3 dan TiO_2 (Ullah *et al.*, 2018). TiO_2 merupakan material semikonduktor yang paling sering digunakan pada aplikasi fotokatalis karena biaya rendah, sederhana namun handal dalam metode sintesis dan ketahanan terhadap korosi (Osin *et al.*, 2018). Menurut lysandra (2017) titanium dioksida merupakan jenis fotokatalis yang sering digunakan untuk pengolahan air limbah karena sifat oksidasi yang tinggi, super hidrofilitas dan stabilitas kimia. Dengan menggunakan metoda fotokatalis material semikonduktor oksida

logam seperti titanium oksida (TiO_2) sehingga dapat mendegradasi bahan organik dan penurunan bahan organik pada air gambut sebesar 89,4%.

Kemampuan fotokatalisis suatu material semikonduktor sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu derajat kristalinitas, serta ukuran partikel zat. Senyawa dengan derajat kristalinitas tinggi memiliki tingkat difusi muatan yang baik sehingga kemungkinan terjadinya rekombinasi muatan dapat diminimalisir. Zat pengotor dan cacat pada struktur kristal sering kali menjadi pusat rekombinasi muatan yang dapat menurunkan aktivitas fotokatalitik dari material semikonduktor. 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 (Ahmad *et al.*, 2014).

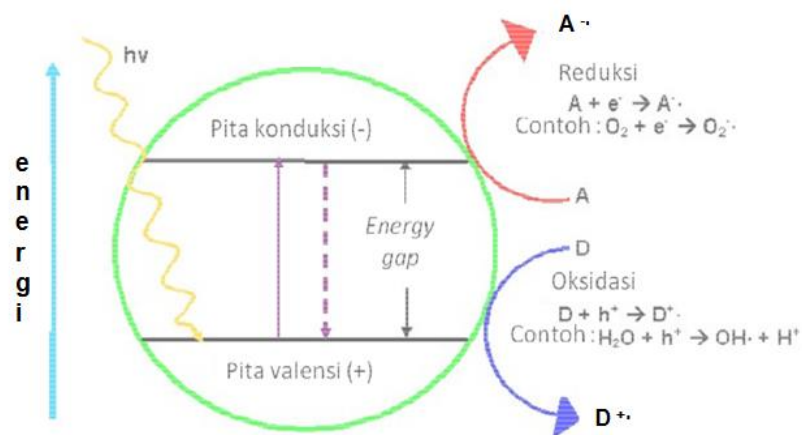
Jika suatu fotokatalis terkena sinar maka sejumlah energi yang berupa foton akan diserap. Penyerapan energi foton tersebut akan mengakibatkan eksitasi elektron pada pita valensi ke pita konduksi (Umar & Hamidi, 2013). Sumber foton untuk aktivitas fotokatalis biasanya berasal dari lampu UV maupun cahaya alami seperti cahaya matahari. Pemanfaatan cahaya matahari sebagai aktivator fotokatalis menguntungkan sebab matahari diperoleh dengan mudah secara gratis dan matahari merupakan sumber energi terbesar di alam (Lin *et al.*, 2017).

Semikonduktor dengan *band gap* yang besar ($\sim 3\text{eV}$) kurang berespon terhadap sinar tampak atau cahaya matahari. karena mereka hanya peka terhadap sinar UV yang memiliki panjang gelombang yang lebih kecil dari sinar tampak ($< 400\text{ nm}$). Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan menurunkan *band gap*

dari material semikonduktor yaitu dengan menggunakan metode pendopongan ion pada material semikonduktor (Abdullah *et al.*,2017). Pemanfaatan fotokatalis telah banyak digunakan di berbagai bidang seperti pengolahan air limbah,pengurangan CO₂ dan untuk produksi H₂ (Sanchez *et al.*,2018).

D. Mekanisme Fotokatalis

Fotokatalis merupakan suatu bahan atau unsur yang digunakan dalam meningkatkan laju reaksi oksidasi dan reduksi yang dibantu oleh cahaya. Salah satu bahan yang menjanjikan untuk dijadikan sebagai bahan fotokatalis adalah titania. Dari tiga bentuk struktur kristal yang dimiliki titania, *anatase* adalah polimorf utama dan merupakan fase yang paling aktif dalam hal aktivitas fotokatalis (Stucchi *et al*, 2014). Dalam fotokatalisis, energi cahaya lebih besar dari celah pita semikonduktor sehingga elektron tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi (e_{cb-}) menghasilkan lubang positif di pita valensi (h_{VB+}). Untuk titania, karena besar celah pitanya 3,2 eV maka dibutuhkan sinar UV. Lubang positif dapat mengoksidasi OH⁻ atau air pada permukaan untuk menghasilkan radikal $\bullet$ OH yang merupakan oksidan kuat. Proses terjadinya fotokatalisis oleh titania dapat dilihat dalam skema berikut



Gambar 2 Mekanisme Fotokatalis

E. Fotokatalis TiO₂ doping Cu

TiO₂ merupakan senyawa berwarna putih, tidak beraroma dan tidak berasa. Pada suhu ruang, TiO₂ berwujud padat dengan massa jenis 4.26 g/cm³. TiO₂ dikenal sebagai material semikonduktor dan banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang antara lain membantu menghilangkan warna pada industri dalam kosmetik, kulit, furniture, kertas dan tekstil (Ullah *et al.*, 2018) material fotokatalis, hingga pigmen pada industri cat.

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan jenis nano partikel yang sudah luas diaplikasikan sebagai material alternatif dalam berbagai aspek karena Titanium dioksida terkenal untuk aplikasi di lingkungan, seperti dapat menghilangkan atau degradasi polutan organik karena stabilitas kimia yang tinggi, potensi fotooksidasi yang kuat, non-toksitas, dan biaya rendah. Material ini terdiri dari tiga bentuk struktur kristal yaitu anatase, rutil dan brookite (Landmann *et al.*, 2012). Rutile adalah fase stabil sedangkan anatase dan brookite fase tidak stabil (Zhang *et al.*, 2014). brookite jarang digunakan dalam fotokatalis karena susah dalam sintesis (Landmann *et al.*, 2012) namun brookite mempunyai kemampuan kinerja yang unggul dalam beberapa reaksi fotokatalitik (Vequizo *et al.*, 2018). Umumnya anatase menampilkan aktivitas fotokatalitik yang jauh lebih tinggi dari pada rutil dan brookite.

Aktivitas fotokatalitik titanium dioksida sangat bergantung pada struktur kristal, ukuran kristal, luas permukaan dan struktur pori. Meskipun anatase memiliki kemampuan serap yang lebih rendah terhadap cahaya matahari dibandingkan rutile karena pita celah anatase yang lebih besar (3,2 eV) sedangkan rutile mempunyai pita celah (3,0 eV) namun, aktivitas fotokatalitik

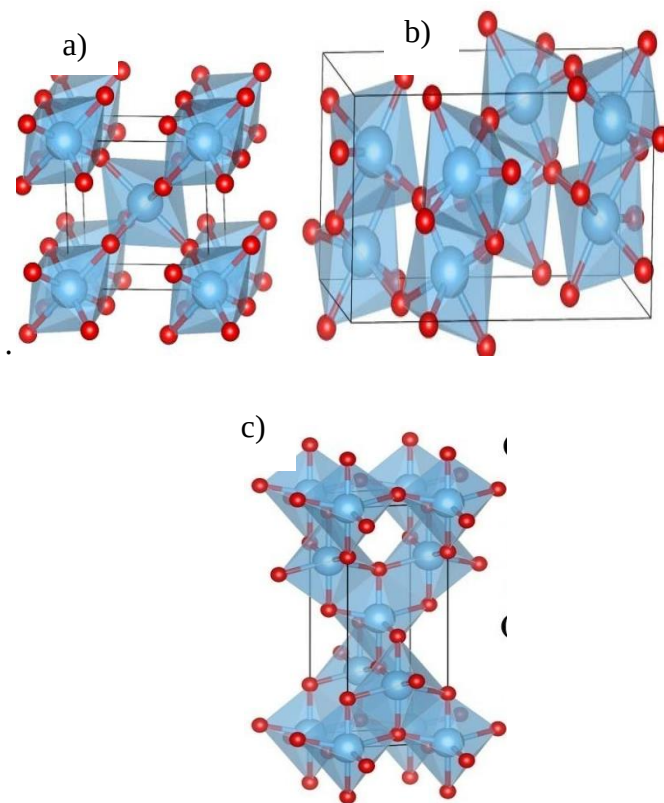
anatase jelas lebih unggul dari pada rutil karena anatase memiliki kapasitas adsorpsi permukaan yang lebih tinggi untuk gugus hidroksil dan tingkat rekombinasi pembawa muatan yang lebih rendah dari rutil (Zhang *et al.*,2014).

TiO₂ brookite (Gambar 2 b) termasuk ke dalam sistem kristal orthorombik yang bersifat tidak stabil. Setiap unit sel terdiri dari 8 molekul TiO₂. Struktur brookite lebih rumit, memiliki volume sel lebih besar dan memiliki kerapatan paling rendah dari pada dua fasa kristal utama TiO₂ lainnya sehingga jarang diaplikasikan sebagai material fotokatalis. Namun pada penelitian Choi,2017. fase brookite mempunyai fotoaktivitas yang jauh lebih tinggi diantara polimorf titanium dioksida, meskipun luas permukaan lebih kecil dibandingkan anatase (Choi *et al.*,2017).

TiO₂ anatase (Gambar 2 c) juga memiliki struktur tetragonal. Fase anatase pada titanium dioksida mempunyai stabilitas kimia dan fotokatalitik yang tinggi dibandingkan dengan fase rutil (Kelaidis *et al.*,2018). Fase anatase merupakan fasa tidak stabil dan dapat berubah ke fasa rutil apabila dipanaskan pada suhu tertentu. TiO₂ anatase dapat dipreparasi menggunakan metode sol-gel dan merupakan fasa TiO₂ yang banyak diaplikasikan sebagai material fotokatalis karena sifat optisnya yang baik.

TiO₂ rutil (Gambar 2 a) memiliki struktur tetragonal dengan 6 atom oksigen per molekulnya. Fase rutil lebih stabil dari pada fasa brookite dan anatase pada ukuran partikel di atas 14 nm. Aktivitas fasa rutil sebagai fotokatalis secara umum cukup rendah. Akan tetapi, fasa rutil dapat aktif atau nonaktif sebagai fotokatalis bergantung pada kondisi preparasinya. Anatase dan rutil adalah dua fase kristal utama TiO₂ dan memiliki sifat fisik dan optik yang berbeda namun,

pada suhu tinggi fase anatase dapat berubah menjadi fase rutil yang merupakan bentuk lebih stabil (Li *et al.*,2018) .



Gambar 3
Struktur kristal TiO_2 a) rutil, b) brookite, c) & Shang, 2015).

Fotokatalis semikonduktor oksida logam terutama TiO_2 telah banyak diteliti di bidang fotokatalis seperti untuk degradasi polutan senyawa organik dan anorganik dalam air limbah, generasi hidrogen, pemurnian udara (wanichaya *et al.*,2012) selain untuk fotokatalis, semikonduktor TiO_2 juga banyak digunakan pada berbagai aplikasi; antara lain untuk sel surya, sensor biologis dan kimia, produk kesehatan hingga pigmentasi cat. Ada beberapa alasan menggunakan TiO_2 sebagai fotokatalis seperti: aktivitas tinggi, stabilitas kimia,tidak beracun, biaya rendah, ketersediaan komersial, non korosit dan sifat oksidasi yang tinggi (Ullah *et al.*,2018).

Aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 dapat ditingkatkan dengan beberapa cara yaitu: dengan mengubah sifat kimia dari TiO_2 seperti dengan cara melakukan pendopingan TiO_2 dengan Co (Zhu et al.,2018), pendopingan menggunakan ion (kation maupun anion), logam mulia (Au, Pt, Ag), dan kopling menggunakan material semikonduktor lain (CuO , ZnO , WO_3) dengan mengontrol sifat fisik dari TiO_2 , seperti ukuran partikel, luas area permukaan, porositas, dan kristalinitasnya (Zheng et al.,2013). TiO_2 mempunyai beberapa kekurangan yaitu : mempunyai energi *band gap* yang besar yaitu 3,0-3,2 eV, mudah terjadi rekombinasi pasangan elektron dan lubang, kapasitas adsorpsi pada daerah sinar UV (<387 nm) yang berarti hanya sebagian kecil dari spektrum matahari yang dapat digunakan untuk aplikasi fotokatalitik (Osin et al.,2018), oleh karena itu diperlukan substrat untuk meningkatkan kinerja fotokatalis.

Modifikasi fisika dan kimia dilakukan salah satunya untuk memperkecil *band gap* dari TiO_2 agar dapat bekerja pada rentang panjang gelombang sinar tampak (Zheng et al.,2013). penelitian ini digunakan modifikasi pada sifat kimia TiO_2 menggunakan ion tembaga (II) atau Cu^{2+} sebagai agen pendoping untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 (Navas et al.,2014).

Tembaga merupakan logam orange kemerahan dan merupakan salah satu logam dengan kelimpahan terbanyak ke-5 di permukaan bumi. Pada kehidupan sehari-hari, tembaga dimanfaatkan sebagai bahan pembuat perkakas rumah tangga, komponen utama pada kabel listrik, dan diaplikasikan pada banyak perangkat elektronik sebagai material konduktor (Fateh Aliofkhazraei & Rezvanian,2017). Pada penelitian ini, digunakan ion tembaga Cu^{2+} sebagai agen pendoping karena lebih murah dibandingkan dengan agen pendoping berupa

logam mulia, serta dilaporkan dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 . Ion Cu^{2+} memiliki jari-jari ion lebih kecil ($0.68 \text{ \AA}$) sehingga dapat tergabung (*incorporate*) pada kisi kristal TiO_2 dengan menggantikan ion Ti^{4+} yang memiliki jari-jari ion lebih besar ($0.74 \text{ \AA}$) (Hernandez *et al.*, 2017).

F. Semikonduktor

Semikonduktor merupakan bahan konduktivitas yang berada diantara konduktor dan isolator. Semikonduktor merupakan material yang memiliki pita, kedua pita tersebut dipisahkan oleh energi ambang atau energi celah pita (*gap energy* atau *band gap*). band merupakan celah energi yang berada diantara pita valensi dan pita konduksi, sementara energi maksimum yang dibutuhkan elektron untuk mengalami eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi disebut energi band gap. Elektron yang tereksitasi pada permukaan material fotokatalis akan memicu suatu reaksi kimia (Madjene, Aoudjit *et al.* 2013). Berdasarkan jumlah mayoritas partikel pembawa muatan semikonduktor dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Semikonduktor tipe-p merupakan semikonduktor yang mengalami kekurangan elektron sehingga semikonduktor ini bermuatan positif dengan lubang sebagai pembawa muatan mayoritas. Sedangkan semikonduktor tipe-n mengalami kelebihan elektron, yang menyebabkan semikonduktor ini bermuatan negatif dengan elektron sebagai pembawa muatan mayoritas. Semikonduktor dapat berperan sebagai fotokatalis dalam reaksi oksidasi dan reduksi bergantung pada besarnya energi celah pita dan jenis celah pita yang akan dioksidasi dan direduksi. Semikonduktor yang berbeda memiliki level pita energi konduktivitas dan potensial redoks yang berbeda, semakin tinggi potensial pita valensi semakin tinggi daya oksidasi yang dimiliki oleh lubang.

Semikonduktor memiliki energi celah pita yang cukup kecil, rentang energi celah pita untuk semikonduktor adalah 1-5 eV, isolator > 5 eV, sedangkan konduktor tidak memiliki energi celah pita (Palupi 2006).

Tabel 1. Beberapa semikonduktor beserta energi celahnya pada suhu 0 K

Semikonduktor	Eg(eV)	Semikonduktor	Eg (eV)
InSb	0,20	Se	1,80
PbTe	0,20	Cu ₂ O	2,20
Te	0,30	CdS	2,60
PbS	0,30	WO ₃	2,80
InAs	0,40	Fe ₂ O ₃	3,10
ZnSb	0,60	TiO ₂	3,23
Ge	0,70	ZnO	3,40
GaSb	0,80	SrTiO ₃	3,40
Si	1,10	ZnS	3,90
CdTe	1,60	AlN	4,60

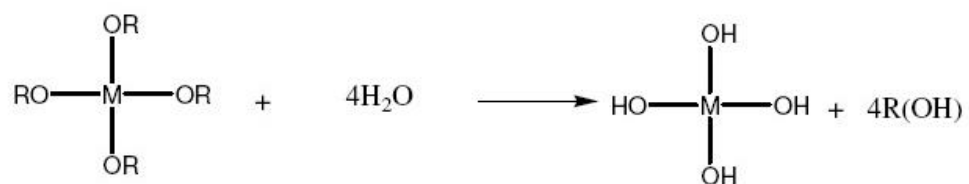
(Sumber : (Chen, Wang et al. 2018))

G. Metode Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan metode yang digunakan untuk mensintesis material berukuran kecil karena mudah dalam preperasi. metode sol gel terdiri dari dua kata yaitu sol dan gel, sol di definisikan sebagai suspensi koloid yang mencakup sistem dengan jangkauan yang luas. Menurut *International Union of Pure Applied Chemistry (IUPAC)* sol merupakan sistem koloid dimana suatu fasa terdispersi dalam fasa lain dengan ukuran partikel fasa terdispersi 1nm-1 μ m (Danks et al.,2016) sedangkan gel didefinisikan sebagai jaringan 3 dimensi dari sol yang membentuk fasa kontiniu yang lebih kaku (Kumar et al.,2015).

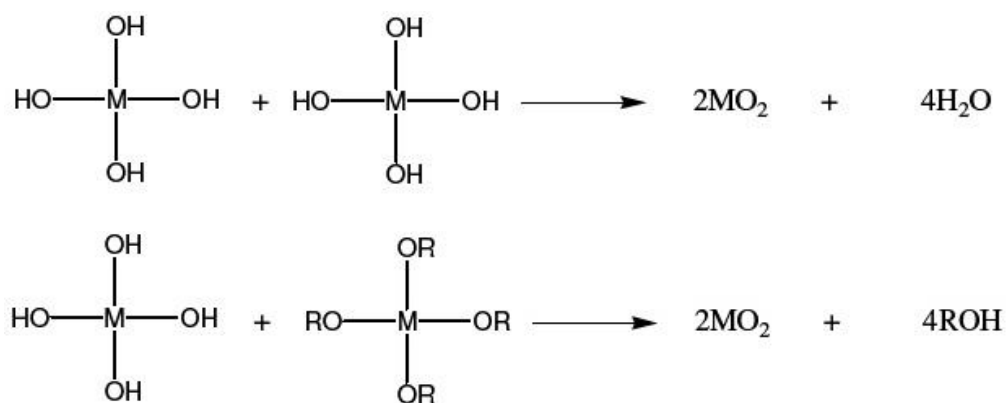
Sejumlah metode yang biasa digunakan pada fotokatalitik TiO_2 yaitu metode sol-gel, elektrokimia, hidrotermal, sputtering dan deposisi kimia namun metode sol-gel yang mudah dioperasikan dari metode lainnya. metode sol gel melibatkan hidrolisis dan kondensasi dari prekursor dan pembentukan gel berikutnya yang menghasilkan pembentukan struktur jaringan kristal dengan menggunakan suhu kalsinasi (Guo *et al.*,2018).

Metode sol-gel terdiri dari beberapa tahap yaitu pada tahap yang pertama pembentukan sol-gel dari monomer material prekursor (Kumar *et al.*,2015). prekursor yang biasa digunakan dalam metode sol gel ada 3 jenis yaitu larutan dari garam logam, larutan logam alkoksida dan campuran senyawa organik anorganik (Dimitriev ,Ivanova & Iordanovaal.,2008). Larutan logam alkoksida merupakan jenis penelitian pertama yang dilakukan pada abad ke-19 yaitu proses pembentukan gel dari material alkoksida yang dipreperasi menggunakan SiCl_4 . Penyebab terbentuknya gel tersebut diketahui sebagai proses hidrolisis dan kondensasi material alkoksida akibat dari kelembaban udara. pada proses hidrolisis terjadi reaksi antara senyawa alkoksida prekursor dengan air yang mengakibatkan pergantian gugus alkoksi (-OR) oleh gugus hidroksi (-OH).



Proses hidrolisis dipengaruhi oleh sifat dari gugus alkil (-R), perbandingan air dengan senyawa alkoksida dan jumlah katalis yang digunakan (Danks *et al.*2016). Sedangkan Pada proses kondensasi, terjadi pembentukan ikatan okso (M-O-M) dari satu molekul prekursor dengan molekul prekursor lain disertai

dengan pelepasan molekul air atau alkohol sebagai produk sampingan. Jalannya reaksi kondensasi sangat ditentukan oleh derajat reaksi hidrolisis. Agar reaksi kondensasi dapat terjadi, setidaknya dibutuhkan satu gugus $-OH$ yang melekat pada logam pusat dari senyawa prekursor. Jika hidrolisis terjadi sempurna sebelum reaksi kondensasi dimulai, maka akan dihasilkan produk $(OH)_3M-O-M(OH)_3$ dengan air sebagai produk sampingan. Sementara apabila hidrolisis hanya terjadi sebagian maka akan menghasilkan produk yang masih memiliki gugus $-OR$ dan menghasilkan senyawa alkohol sebagai produk samping (Danks et al., 2016). Jaringan molekul yang lebih luas akan terbentuk seiring dengan berjalannya proses kondensasi. Jaringan yang luas tersebut akan membentuk sistem tiga dimensi yang lebih kaku yang disebut gel (Kumar et al., 2015). Contoh reaksi kondensasi dari logam alkoksida dapat dilihat sebagai berikut (Kumar et al., 2015).



Tahap yang kedua pada metoda sol-gel yaitu yaitu agin (pematangan), Proses pematangan (*aging*) merupakan tahap dimana material yang telah disintesis disimpan atau dijaga pada kondisi tertentu dalam jangka waktu beberapa jam atau beberapa hari. Selama proses pematangan, proses kondensasi tetap terjadi di dalam wadah atau substrat tempat gel melekat. Pada proses ini terjadi penurunan

ukuran pori dan gel akan mengendap membentuk agregat sehingga dapat menurunkan resiko adanya retakan (*cracking*) pada saat pengeringan. Tahap yang terakhir yaitu *Drying* (Pengeringan) Pada proses pengeringan, pelarut yang masih tersisa di dalam jaringan gel akan dihilangkan dengan cara pemanasan. Selama proses pemanasan, terjadi pemadatan struktur gel menjadi lapisan atau agregat yang lebih padat. Pemadatan atau densifikasi bergantung pada ukuran pori, jarak antar pori dan luas permukaan dari material yang disintesis (Kumar et al.,2015).

H. Karakterisasi TiO₂ di doping Cu

Karakterisasi TiO₂ doping Cu dilakukan dengan berbagai macam metode untuk mengetahui sifat fisik dan kimia suatu material fotokatalis seperti untuk mengetahui ukuran kristal fotokatalis, mengetahui sifat adsorbansi, mengetahui band gap material serta efisiensi fotokatalis pada asam humat.

I. *X-Ray diffraction* (XRD)

XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal dan susunan atom. XRD yang paling umum digunakan untuk mengkarakterisasi karena tidak merusak struktur kristal material yang di uji. XRD dapat memberikan informasi mengenai struktur, fasa, tekstur, ukuran rata-rata partikel,derajat kristalinitas dan cacat pada kristal. Namun XRD juga mempunyai kekurangan yaitu pengukurannya lambat, melibatkan mesin yang rumit dan biaya yang relatif mahal (Mohanraj *et al.*,2018).

Sinar X yang dihasilkan pada instrumen XRD berasal dari tabung katoda yang telah disaring supaya dihasilkan sinar X monokromatik yang ditembakkan pada sampel.interaksi dari sinar X dengan sampel membentuk sinar yang dihamburkan (Bunaciu, Elena&Hassan, 2015).

J. spektrofotometer UV-Vis

Salah satu instrumen optik yang sangat populer adalah spektrofotometri UV-Vis. Spektroskopi UV-Vis merupakan salah satu metode tertua dalam spektroskopi molekuler perumusam tentang hukum bouger-lambert-beer pada tahun 1852 menciptakan dasar bagi evaluasi kuantitatif pada pengukuran absorpsi pertama-tama menyebabkan kalorimetri, kemudian fotometri dan akhirnya menjadi spektrofotometri yang secara luas digunakan untuk mengukur spektrum penyerapan sampel UV dan sinar tampak, seperti untuk mengetahui Aktivitas katalitik nanopartikel dapat dipelajari dengan menggunakan spektroskopi UV/Vis (Begum *et al.*, 2018).

penyerapan didefinisikan sebagai proses dimana intensitas cahaya dari sinar pengukuran berkurang karena molekul dalam sampel mengalami transisi dari keadaan dasar akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. penggunaan hukum lambert-beer dalam spektroskopi akan terjadi jika beberapa kondisi yang mendasar terpenuhi seperti; cahaya pengukuran ketat monokromator, distribusi homogen dan molekul dalam suatu sampel, tidak adanya hamburan cahaya dan reaksi fotokimia dalam sampel, deteksi ideal dan pengolahan nilai intensitas I_0 dan I (Mantele & Deniz, 2017).

Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopi yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Spektrofotometri lebih banyak digunakan pada analisa kuantitatif dibanding kualitatif karena pada pengukuran spektrofotometri menggunakan alat spektrofotometer yang melibatkan energi elektronik yang besar pada molekul

yang dianalisa. Spektrofotometri Uv-Vis digunakan untuk menghitung absorbansi suatu sampel (Graham *et al* .,2010).

K. ***Fourier Transform Infra Red (FTIR)***

Fourier Transform Infra Red (FTIR) merupakan instrument yang digunakan untuk analisa kualitatif. Prinsip kerja dari FTIR yaitu berdasarkan jumlah penyerapan sinar oleh suatu sampel. Apabila suatu sampel dilewati oleh radiasi inframerah, maka molekul-molekulnya akan mengabsorpsi energi dan terjadi transisi antara tingkat vibrasi dasar (*ground state*) dan tingkat vibrasi tereksitasi

(excited state), pada FTIR spectrum yang terbentuk akan memberikan informasi mengenai gugus fungsional suatu molekul. Kelebihan-kelebihan dari FTIR mencakup persyaratan ukuran sampel yang kecil, perkembangan spectrum yang cepat, dan instrument ini memiliki computer yang terdedikasi kemampuannya untuk menyimpan dan memanipulasi spectrum (Stevens, 2001).

L. *Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)*

Spektrofotometri UV-Vis *Diffuse Reflectance* merupakan metoda yang digunakan untuk mengetahui besarnya *band gap* suatu material semikonduktor. Metoda ini didasarkan pada pengukuran intensitas UV-Vis yang direfleksikan oleh sampel padat yang dikenai cahaya pada rentang panjang gelombang UV-Vis. (Dolat, *et al.*, 2014).

Hasil dari karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS berwujud kurva hubungan antara k/s dengan panjang gelombang (λ) atau absorbansi (A) dengan panjang gelombang (λ). Spektrum yang diperoleh untuk senyawa padatan disebut sebagai *diffuse reflectance spectrum* (spektrum refleksi). Spektrum ini lebih dikenal sebagai spektrum elektronik karena spektrum pada daerah UV-Vis ini muncul sebagai akibat terjadinya transisi elektron dari tingkat energi rendah ke tingkat energi tinggi (tereksitasi) jika elektron itu memperoleh energi yang sesuai. Energi transisi elektronik ini muncul sebagai puncak pita spektrum senyawa yang dianalisa sehingga dapat diketahui penyerapan panjang gelombang maksimum dan dihitung energinya (Agnes, 2016).

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Reaktor mobile di buat dari kaca dengan ketebalan 3 mm dipotong dan di lem berbentuk hexagonal, selanjutnya di lubangi bagian atasnya sebagai tempat masuknya stirer, stirer dihubungkan dengan dinamo (*dimmer DC 12-24V.8A*) sehingga strirer dapat berputar.
2. Pembuatan TiO_2 didoping Cu pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode sol-gel pada suhu kalsinasi 400°C dimana katalis TiO_2 doping Cu yang dihasilkan bentuk kristalnya yaitu anatase dengan ukuran Kristal berkisar antara 14 -26 nm
3. Kemampuan fotokatalis asam humat dengan menggunakan TiO_2 doping Cu didapat nilai terbaik konsentrasi ppm yang terdegradasi pada 500 rpm selama 5 jam yaitu 7,83 ppm, pada 1000 rpm selama 4 jam yaitu 7,97 dan pada 1500 rpm sebanyak 6,16 ppm selama 2 jam.
4. fototransformasi asam humat tanpa menggunakan katalis didapat nilai terbaik konsentrasi ppm yang terdegradasi pada 500 rpm selama 1 jam yaitu 17,41 ppm, pada 1000 rpm selama 2 jam yaitu 16,02 dan pada 1500 rpm sebanyak 16,02 ppm selama 3 jam.

B. Saran

1. Melakukan sintesis TiO_2 doping Cu yang benar, sebelum mensintesis TiO_2 doping Cu terlebih dahulu membaca jurnal yang akurat dan mengetahui sifat-sifat dari zat yang digunakan
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan katalis yang berbeda untuk degradasi suatu senyawa organik.
3. Melakukan penelitian tentang degradasi asam humat dengan menggunakan cahaya matahari luar ruangan dan cahaya matahari dalam ruangan
4. Melakukan penelitian degradasi asam humat dengan menggunakan variabel penelitian tanpa perputaran, tanpa katalis, tanpa cahaya, dengan cahaya, dengan katalis dan menggunakan perputaran, sehingga mengetahui faktor yang paling dominan untuk mendegradasi asam humat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah Hamidah, Md.Maksudur Rahman Khan., Huei Ruey Ong dan Zahira Yaakob. 2017. *Modified TiO₂ Photocatalyst for CO₂ Photocatalytic Reduction: An overview. Journal of CO₂ Utilization* 22:15–32. Doi: 10.1016/j.jcou.2017.08.004.
- Agness Intan, 2016. “Preparasi Dan Karakterisasi Komposit Cuo-Zeolit Alam Untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Dengan Sinar Ultraviolet”. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bai, Song., Ning, Zhang., Chao, Gao and Yujie, Xiong. 2018. *Defect Engineering in Photocatalytic Materials*. Nano Energy. doi:10.1016/j.nanoen.2018.08.058.
- Begum, Robina Zahoor., H. Farooqi., Khalida, Naseem., Faisal Ali., Madeeha Batool., Jianliang Xiao and Ahmad Irfan. 2018. *Applications of UV/Vis Spectroscopy in Characterization and Catalytic Activity of Noble Metal Nanoparticles Fabricated in Responsive Polymer Microgels: A Review*. Crit Rev Anal Chem, 2018. 48(6): 503-516. doi:10.1080/10408347.2018.1451299
- Buckley, B.J., Dench, R.J., Morrogh-Bernard, H. C., Bustani, U. and Chivers, D.J. 2015. *Meat-eating by a wild Bornean orang-utan (Pongo pygmaeus)*. Primates 56,4: 293-9. DOI: 10.1007/s10329-015-0487-x.
- Bunaciu, Andrei A., Elena gabriela Udriștioiu dan Hassan Y. Aboul-Enein. 2015. “X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications”. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 45, 289–299. DOI: 10.1080/10408347.2014.949616.
- Buxton, Richard. 2007. *Design Expert 7*. Mathematics Learning support centre.
- Chaidir, Z., Sagita, D. T., Zein, R., & Munaf, E. (2015). *Bioremoval of methyl orange dye using durian fruit (Durio zibethinus) Murr seeds as biosorbent*. 7((1) : 589 - 599).
- Cheng, W.P., Chi, F.H. and Yu, R.F. 2004. *Effect of phosphate on removal of humic substances by aluminum sulfate coagulant*. J Colloid Interface Sci. 272, 1: 153-7. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.08.074
- Choi, Ming., Jonghun, Lim., Minki, Baek., Wonyong, Choi., Wooyul, Kim and Kijung Yong. 2017. *Investigating the Unrevealed Photocatalytic Activity and Stability of Nanostructured Brookite TiO₂ Film as an Environmental Photocatalyst*. ACS Appl Mater Interfaces, 9(19): 16252-16260.
- Clark, Joanna M., John K. Adamson., 2008 *Link between DOC in near surface peat and stream water in an upland catchment*. Sci Total Environ, 404(2-3): 308-15.