

**DESAIN REAKTOR PENDEGRADASI ASAM HUMAT MELALUI
FOTOTRANSFORMASI PLAT SEMIKONDUKTOR TEMBAGA OKSIDA
(CuO)**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Jurusan Kimia
sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains(S.Si)*



SYANTY RAHMADHANTY

16036102/2016

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKAN DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018**

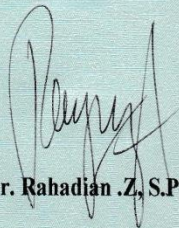
PERSETUJUAN SKRIPSI

**DESAIN REAKTOR PENDEGRADASI LARUTAN ASAM HUMAT
MELALUI FOTOTRANSFORMASI PLAT SEMIKONDUKTOR
TEMBAGA OKSIDA (CuO)**

Nama : Syanty Rahmadhanty
Nim : 16036102
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2018

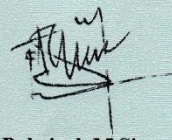
Pembimbing I



Dr. Rahadian .Z., S.Pd, M.Si

NIP. 19740121 200012 10001

Pembimbing II



Drs. Bahrizal, M.Si

NIP. 19551231 198903 1009

HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Judul : Desain Reaktor Pendegradasi Larutan Asam Humat Melalui Fototransformasi Plat Semikonduktor Tembaga Oksida (CuO)
Nama : Syanty Rahmadhanty
NIM : 16036102
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

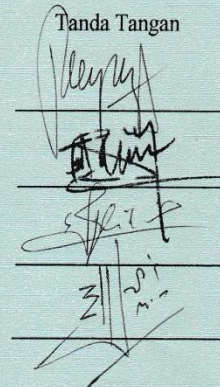
Padang, Agustus 2018

Tim Penguji

Nama

1. Ketua : Dr. Rahadian .Z, S.Pd, M.Si
2. Sekretaris : Drs.Bahrizal, M.Si
3. Anggota : Dra.Syamsi Aini, M.Si, Ph.D
4. Anggota : Effendi, S.Pd, M.Sc

Tanda Tangan



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Syanty Rahmadhanty
TM/NIM : 16036102/2016
Tempat/Tanggal Lahir : Bukittinggi/ 06 November 1991
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : MIPA
Alamat : Jl.Blang Bintang No.20 Air Tawar Timur
No.HP/Telepon : 085363038802
Judul Skripsi : Desain Reaktor Pendegradasi Larutan Asam Humat Melalui Fototransformasi Plat Semikonduktor Tembaga Oksida (CuO)

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademi (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada daftar pustaka.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangan **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, Agustus 2018
Yang membuat pernyataan,



Syanty Rahmadhanty
NIM : 16036102

ABSTRAK

Syanty Rahmadhanty (2018): “Desain Reaktor Pendegradasi Larutan Asam Humat Melalui Fototransformasi Plat Semikonduktor Tembaga Oksida (CuO)”.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat reaktor pendegradasi larutan asam humat dengan menggunakan katalis tembaga oksida (CuO). Reaktor yang dirancang terdiri atas 2 jenis desain, reaktor pertama terdiri dari 8 buah semikonduktor tembaga oksida (CuO) sebagai katalis dengan volume sampel 1600 ml dan reaktor kedua terdiri atas 1 buah tembaga oksida (CuO) dengan volume sampel 25 ml. Sumber cahaya yang digunakan adalah cahaya matahari langsung dan cahaya dalam ruangan. Proses katalitik dilakukan melalui fotodegradasi larutan asam humat menggunakan reaktor tersebut. Variasi lama penyinaran dilakukan selama 2, 4, 6 dan 8 jam. Absorbansi asam humat sebelum dan sesudah penyinaran diukur menggunakan spektrometri pada λ 325 nm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyinaran matahari langsung memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan sinar cahaya dalam ruangan. Lama penyinaran optimum sinar matahari adalah 4 jam dengan degradasi sebesar 32,80 % dengan menggunakan reaktor jenis kedua.

Kata kunci : fotokatalis, fotodegradasi, tembaga oksida (CuO), asam Humat

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang telah memberi Rahmat dan Kurnia sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi yang berjudul **“Desain Reaktor Pendegradasi Larutan Asam Humat Melalui Fototransformasi Plat Semikonduktor Tembaga Oksida (CuO)”** dengan baik dan lancar. Shalawat dan salam untuk Nabi akhir zaman, Nabi Muhammad SAW, sosok yang mulia, suri teladan dalam segala sisi kehidupan.

Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan dalam rangka untuk memperoleh Sarjana S-1 pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Selama penelitian dan penulisan skripsi ini penulis melibatkan banyak pihak yang telah memberikan masukan yang berharga, untuk itu dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr.Rahadian .Z, S.Pd, M.Si selaku Pembimbing I sekaligus Penasehat Akademik.
2. Bapak Drs. Bahrizal, M. Si selaku Pembimbing II.
3. Ibu Dra. Syamsi Aini, M.Si, Ph.D dan Bapak Effendi, S.Pd, M.Sc selaku Dosen Penguji sekaligus Pembahas.
4. Bapak Dr. Mawardi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.

5. Bapak Hary Sanjaya, M.Si selaku Ketua Prodi Kimia Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
6. Staf Akademik Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
7. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam melakukan setiap aktivitas penelitian.
8. Teman-teman kimia khususnya mahasiswa transfer 2016 dan adik-adik angkatan 2014 yang telah memberikan motivasi kepada penulis untuk tetap melangkah dan berjuang dalam pelaksanaan penelitian maupun penyelesaian skripsi ini.

Penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis haturkan terima kasih. Semoga bantuan dan bimbingan yang telah diberikan menjadi amal shaleh bagi Bapak/Ibu dan teman-teman serta mendapat balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT.

Padang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	iv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Air Gambut	5
B. Senyawa Humat	8
C. Fototransformasi Asam Humat	11
D. Fotokatalis	14
E. Semikonduktor	17
F. Tembaga Oksida	18
G. Spektrofotometer	19
H. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	22
I. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	23
BAB III. METODE PENELITIAN	26
A. Tempat dan Waktu Penelitian	26
B. Variabel Penelitian	26
C. Alat dan Bahan	26
D. Prosedur Penelitian	26
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Karakterisasi Tembaga Oksida (CuO) dengan XRD	30
B. Karakterisasi Tembaga Oksida (CuO) dengan SEM.....	31
C. Pengaruh Sinar Pada Fotodegradasi Asam Humat.....	32
D. Pengaruh Waktu Terhadap Degradasi Asam Humat.....	33
BAB V. PENUTUP	36
A. Kesimpulan.....	36
B. Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Mekanisme Fotokatalisis.....	16
2.2. Struktur Kristal tembaga Oksida.....	19
2.3. Skema <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	22
3.1. Fotoreaktor.....	28
4.1. Hasil Uji XRD Plat Tembaga Oksida (CuO) yang telah dikalsinasi selama 1 jam pada suhu 400 C.....	32
4.2. Hasil Pengukuran SEM pada permukaan tembaga oksida (CuO).....	33
4.3. Diagram Hubungan antara variasi cahaya dalam ruangan dan di Luar ruangan.....	34
4.4. Diagram pengaruh waktu terhadap degradasi asam humat.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Desain Penelitian.....	42
2. Sintesis Plat Tipis Tembaga Oksida.....	43
3. Perancangan Fotoreaktor.....	44
4. Pengenceran Asam Humat 20 Ppm	46
5. Data Pengukuran Terhadap Penurunan Absorbansi.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini persoalan lingkungan merupakan suatu hal yang penting bagi kehidupan manusia. Persoalan itu antara lain pencemaran lingkungan, terutama di perairan. Sumber pencemar bisa berasal dari limbah anorganik seperti logam-logam berat, limbah organik seperti asam humat, asam fulvat dan humin serta partikulat lain yang terdistribusi dalam perairan.

Persoalan air rawa gambut menjadi fenomenal di Indonesia. Hal ini disebabkan negara Indonesia memiliki lahan gambut yang sangat luas. Lahan gambut di Indonesia mencapai 20 juta Ha, sebagaimana tertuang dalam laporan Strategi dan Rencana Tindak Nasional (Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan, Oktober 2006). Data lebih rinci dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia dan Kementerian Pertanian 2016, luas lahan gambut di beberapa pulau besar Indonesia. Yakni, pulau Sumatera 5.965.220 Ha, pulau Kalimantan 5.036.164 Ha terdapat dan pulau Papua 4.931.054 Ha.(Badan Restorasi Gambut,2016) Potensi yang besar ini bisa dipakai bilamana air rawa gambut dapat ditransformasi menjadi produk mineralisasi yang menunjang bagi pertumbuhan lahan pertanian, seperti pH 7, tidak asam dan bersih. (G. S. Dhillon, et, al.,2013).

Pada air rawa gambut terdapat bahan pencemar yang menyebabkan perubahan pada warna air rawa tersebut. Zat – zat tersebut antara lain asam humat,

asam fulvat dan humin. Upaya penjernihan terhadap air rawa gambut telah banyak dilakukan dengan metode konvensional, misalnya melalui penyaringan menggunakan pasir, ijuk dan tawas. Namun pada air rawa gambut hal ini tidak bisa berlangsung dengan baik.

Aplikasi fotokatalis semikonduktor untuk penanggulangan masalah industri dan lingkungan merupakan suatu kajian yang menarik. Menurut Wong et al (1995), hal ini disebabkan beberapa keunggulan yang dimilikinya yaitu relatif murah, bersifat non toksik, dapat menggunakan matahari sebagai sumber energi, dapat dipakai ulang dan metode penggunaannya dapat disederhanakan. Berbagai jenis senyawa terutama senyawa organik yang telah berhasil ditransformasi dengan metode tersebut sebagaimana telah dilaporkan oleh Hoffman et al.(1995) antara lain, alkana, alkohol alifatis, asam karboksilat alifatis, alkena, senyawaan fenol, asam karboksilat aromatis, zat-zat warna, senyawa aromatis sederhana, alkana dan alkena terhalogenasi, surfaktan dan pestisida.

Disain katalis menggunakan semikonduktor tembaga oksida telah dikembangkan sebagai salah satu fotokatalis yang baik. Tembaga Oksida (CuO) memiliki kelebihan yaitu tidak beracun, memiliki *band gap* yang rendah yaitu 1,2 eV yang mampu bekerja pada cahaya tampak atau cahaya matahari langsung, biaya produksi rendah, sifat listrik yang cukup baik sehingga tembaga oksida telah banyak digunakan untuk berbagai aplikasi dalam berbagai bidang seperti sel surya, pelapis elektronik dan aplikasi katalitik.(Al-Kuhaili. M.F, 2007).

Berdasarkan hal di atas, peneliti ingin meneliti bagaimana aktifitas dan efisiensi semikonduktor tembaga oksida dalam fototransformasi asam humat.

Dalam penelitian ini, peneliti mengajukan riset yakni “Bagaimanakah Spesifikasi dari Desain Reaktor Pendegradasi Larutan Asam Humat menggunakan katalis semikonduktor plat tembaga oksida (CuO).

B. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka masalah dalam penelitian ini dibatasi pada:

1. Fotokatalis yang digunakan adalah plat tembaga oksida (CuO).
2. Karakterisasi tembaga oksida (CuO) menggunakan SEM, XRD.
3. Waktu degradasi asam humat dimulai dari 2 jam sampai dengan 8 jam.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah, maka peneliti merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah desain pendegradasi larutan asam humat dengan fotokatalis tembaga oksida (CuO) menggunakan cahaya tampak.
2. Bagaimanakah karakterisasi dari plat tembaga oksida (CuO).
3. Bagaimanakah efisiensi dari reaktor pendegradasi larutan asam humat.

D. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui bagaimana desain reaktor pendegradasi asam humat dengan fotokatalis tembaga oksida.
2. Mengetahui kemampuan fotokatalis semikonduktor tembaga oksida dalam fototransformasi asam humat.

E. Manfaat Penelitian

1. Dapat memberikan informasi tentang desain reaktor pendegradasi asam humat fotokatalis plat semikonduktor tembaga oksida.
2. Memberikan informasi fotokatalis semikonduktor yang lebih baik untuk reaktor pendegradasi asam humat.

BAB II

PENDAHULUAN

A. Air Rawa Gambut

Lahan gambut merupakan salah satu lahan tropis yang lembab, yang memiliki lapisan senyawa organik yang berasal dari daun, batang dan semua bagian pohon maupun tumbuhan yang telah lapuk maupun belum. Seluruh isi dari lahan gambut ini merupakan akumulasi dari senyawa organik. (Salimin et al., 2010).

Air rawa gambut adalah air permukaan atau air tanah yang banyak terdapat di daerah pasang surut, berawa dan dataran rendah, berwarna merah kecoklatan, berasa asam (tingkat keasaman tinggi), dan memiliki kandungan organik tinggi. Gambut sendiri didefinisikan sebagai material organik yang terbentuk dari dekomposisi tidak sempurna dari tumbuhan daerah basah dan dalam kondisi sangat lembab serta kekurangan oksigen. Air gambut secara umum tidak memenuhi persyaratan kualitas air bersih yang distandarkan oleh Departemen Kesehatan RI melalui Permenkes No.416/Menkes/Per/IX1990.

Air gambut umumnya memiliki warna coklat kehitaman. Hal ini disebabkan oleh adanya kandungan senyawa organik yang berasal dari proses dekomposisi rawa. Air gambut yang berwarna kehitaman ini terjadi karena adanya kontak antara air dengan beragam sampah organik, berupa dedaunan maupun kayu, yang mana tahap dekomposisinya juga berbeda – beda.

Senyawa organik tersebut terdiri dari senyawa-senyawa humat sekitar 10 hingga 20% dan sebagian besar lainnya adalah senyawa lignin, selulosa, hemiselulosa, lilin, tannin, resin, suberin, protein, dan senyawa lainnya. Ini merupakan senyawa utama penyebab terjadinya warna coklat kehitaman pada air rawa. Lahan gambut umumnya mempunyai tingkat keasaman yang relatif tinggi dengan kisaran pH 3 - 5. (Agus dan Subakti, 2008).

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. 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, 2004).

Air gambut merupakan air permukaan dari tanah bergambut dengan ciri yang sangat mencolok karena warnanya merah kecoklatan, mengandung zat organik tinggi serta zat besi yang cukup tinggi, rasa asam dengan pH 3-5 dan tingkat kesadahan rendah. Karakteristik air gambut menunjukkan bahwa air gambut kurang menguntungkan untuk dijadikan air minum bagi masyarakat di daerah berawa seperti:

1. Intensitas warna yang tinggi (berwarna merah kecoklatan).
2. pH yang rendah.

3. Kandungan zat organik yang tinggi kekeruhan dan kandungan partikel tersuspensi yang rendah. 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 (Kusnaedi,2006).

Beberapa karakteristik air gambut yang menyebabkan timbulnya gangguan kesehatan adalah:

1. Kadar pH rendah (3-4) sehingga bersifat sangat asam.
2. Kadar organik tinggi
3. Kadar besi dan mangan tinggi
4. Berwarna kuning hingga coklat tua (pekat)

Air baku tersebut pada dasarnya tidak layak untuk dijadikan air baku untuk air minum. Dibandingkan dengan air permukaan lainnya yang bersifat tawar, maka air dari daerah gambut perlu diolah secara spesifik dengan menambah tahapan dalam proses pengolahannya. Tahap tersebut berupa tahap netralisasi pH untuk menyesuaikan dengan pH normal dalam pengolahan air bersih pada umumnya dan tahap untuk menghilangkan warna. Proses netralisasi maupun proses lainnya seperti koagulasi, disinfeksi telah banyak dilaporkan di dalam literatur.

Warna merah kecoklatan air gambut merupakan warna alami yang mengandung partikel-partikel koloid organik bermuatan positif yang tidak dapat diendapkan secara gravitasi sehingga perlu ditambahkan gaya-gaya agar partikel itu dapat diendapkan. Penyebab utama diperkirakan adanya sebagian besar

senyawa-senyawa hasil proses humifikasi (asam humat dan asam sulfat), disamping mineral Fe dan Mn. Kedua senyawa itu heterogen dalam berat molekul, kadar karboksil, kemasaman total dan kelarutannya dalam asam basa.

Gambut terjadi pada hutan-hutan yang pohonnya tumbang dan tenggelam dalam lumpur yang hanya mengandung sedikit oksigen, sehingga jasad renik tanah sebagai pelaku pembusukan tidak mampu melakukan tugasnya secara baik. akhirnya bahan-bahan organik dari pepohonan yang telah mati dan tumbang tertumpuk dan lambat laun berubah menjadi gambut yang tebalnya bisa mencapai 20m. Gambut terbentuk tatkala bagian-bagian tumbuhan yang luruh terhambat pembusukannya, biasanya di lahan-lahan berawa, karena kadar keasaman yang tinggi atau kondisi anaerob diperairan setempat. Tidak mengherankan jika sebagian besar tanah gambut tersusun dari serpih dan kepingan sisa tumbuhan, daun, ranting, pepagan, bahkan kayu-kayu besar, yang belum sepenuhnya membusuk. Kadang-kadang ditemukan pula, karena ketiadaan oksigen bersifat menghambat dekomposisi, sisa-sisa bangkai binatang dan serangga yang turut terawetkan dalam lapisan gambut tersebut.

B. Senyawa Humat

Menurut Tan (1991) bahan organik tanah dibedakan menjadi dua kelompok besar yaitu bahan tak terhumifikasi dan bahan terhumifikasi. Bahan tak terhumifikasi adalah senyawa-senyawa organik dalam tanaman dan organisme lain yang telah biasa dikenal selama ini seperti karbohidrat, asam amino, protein, lipid, asam nukleat dan lignin. Sedangkan bahan terhumifikasi adalah senyawa-

senyawa organik yang merupakan hasil akhir dekomposisi bahan tanaman dalam tanah, atau sekarang lebih dikenal dengan senyawa humat.

Senyawa humat diklasifikasikan menjadi tiga fraksi utama berdasarkan kelarutan dan warnanya, yaitu :

1. 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 $-\text{COOH}$, fenolik/enolik $-\text{OH}$, alkohol $-\text{OH}$ dan quionon $-\text{C}=\text{O}$. (Stevenson, 1994).

2. Asam fulvat

Asam Fulvat memiliki berat molekul yang rendah yaitu antara rentang 1000 hingga 10.000 g/mol. Fraksi asam fulfat memiliki warna mulai dari kuning pucat pada kondisi pH rendah hingga warna kuning kemerahan pada kondisi pH yang tinggi. Asam fulfat dapat larut dalam basa dan juga asam. (Stevenson, 1994).

3. Humin

Humin dianggap sebagai molekul paling besar dari senyawa humus karena rentang berat molekulnya mencapai 100.000 hingga 10.000.000 g/mol. Sedangkan sifat kimia dan fisika humin belum banyak diketahui. Tan juga menyatakan bahwa karakteristik humin adalah berwarna coklat gelap (Tan,

1982). Humin tidak dapat larut dalam air, alkohol asam maupun basa. (Stevenson, 1994).

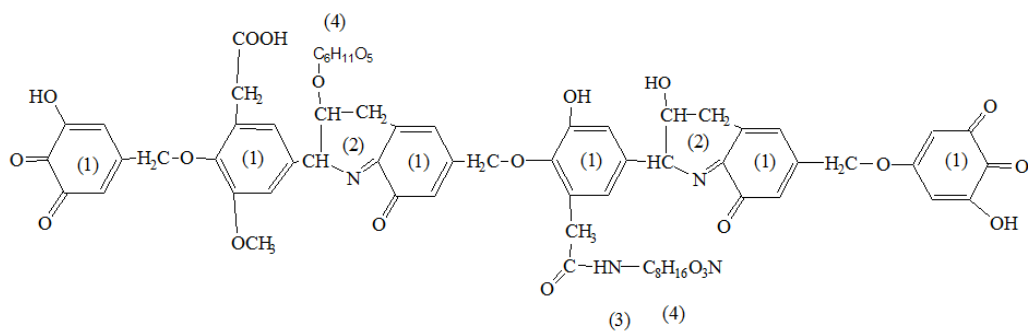
Ketiga jenis fraksi asam humus ini memiliki struktur yang hampir sama satu sama lain, hanya berbeda berat molekul dan kandungan gugus fungsionalnya. (Novita, E., 2008). Asam fuvat dengan berat molekul yang rendah memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi dan kandungan karbon yang rendah jika dibandingkan dengan asam humat dengan berat molekul yang tinggi. Warna juga akan semakin tinggi dengan semakin tingginya berat molekul.

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. (Stevenson, 1994).

Secara sederhana, Miller (1990) mendefinisikan asam humat sebagai campuran material organik berwarna coklat kehitaman yang dapat diekstrak dari tanah dengan basa dan dapat diendapkan dengan asam. Sedangkan Stevenson (1985) secara kimia mendefinisikan asam humat sebagai misel polimer alami dengan struktur dasar yang mengandung cincin aromatik dari di- atau trihidroksifenol dengan tipe jembatan -O-, -CH₂-, -NH-, -S- serta mengandung gugus OH bebas dan ikatan ganda dari kuinon (gambar 2.1).

Stevenson (1985) juga menjelaskan bahwa struktur asam humat yang ditemukan oleh Flaig merupakan polimer yang terdiri dari beberapa gugus

COOH, jembatan –O-, –CH₂– dan –NH–. Asam humat berwarna coklat kehitaman dan dapat direduksi menjadi produk tak berwarna dengan pereaksi natrium amalgam. Di alam, asam humat sering terdapat bersama-sama dengan residu protein dan karbohidrat.



Gambar 2.1. Struktur asam humat menurut Dragunov's

C. Fototransformasi asam humat

Dalam makalahnya yang berjudul pengolahan Air Gambut, Taufik (1985) menerangkan bahwa air gambut merupakan air permukaan/air tanah yang banyak terdapat di daerah berawa dengan ciri berwarna merah sampai coklat, berbau kurang sedap serta berasa asam. Air jenis ini jelas tidak memenuhi persyaratan air bersih yang ditentukan oleh Depkes RI. Dengan kata lain, merujuk pada definisi yang dikemukakan Nebel dan Wright (1993) maka air rawa gambut tergolong air terpolusi karena mengandung material baik organik maupun anorganik (dalam kasus ini material organik) yang menyebabkan air tak lagi layak pakai.

Seperti yang diterangkan sebelumnya, komponen utama air gambut adalah senyawa-senyawa humat. Salah satu fraksi utama senyawaan humat adalah asam humat yang menyebabkan air gambut berwarna coklat kehitaman, sehingga

perlu diterapkan suatu metoda guna mentransformasi 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 selaku donor elektron dalam reaksi fototransformasi yang dikatalisis oleh semikonduktor dalam suatu sel.

Katalis

Katalis merupakan zat yang mampu meningkatkan laju suatu reaksi kimia agar reaksi tersebut dapat berjalan lebih cepat. Dalam suatu reaksi sebenarnya katalis ikut terlibat, tetapi pada akhir reaksi terbentuk kembali seperti bentuknya semula. Dengan demikian, katalis tidak memberikan tambahan energi pada sistem dan secara termodinamika tidak dapat mempengaruhi keseimbangan. Katalis mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi reaksi. Penurunan energi aktivasi tersebut terjadi sebagai akibat dari interaksi antara katalis dan reaktan.

Katalis menyediakan situs-situs aktif yang berperan dalam proses reaksi. Situs-situs aktif ini dapat berasal dari logam-logam yang terdeposit pada permukaan atau dapat pula berasal dari permukaan sendiri. Logam-logam tersebut umumnya adalah logam-logam transisi yang menyediakan orbital d kosong atau elektron tunggal yang akan disumbangkan pada molekul reaktan sehingga terbentuk ikatan baru dengan kekuatan ikatan tertentu (Campbell, 1998).

Reaksi katalitik secara umum dikelompokkan menjadi dua kelompok, yaitu reaksi katalitik homogen dan reaksi katalitik heterogen. Pada reaksi katalitik homogen, reaktan dan katalis berada dalam fasa yang sama dan reaksi terjadi di seluruh fasa. 6 Walaupun banyak keuntungan dari katalis logam homogen, kekurangannya adalah pada proses pemisahan dari campuran terkadang juga menghambat penggunaannya dalam industri. Katalis Heterogen menghasilkan kemudahan dalam pemisahan dan penggunaan ulang katalis dari suatu campuran. Laporan terakhir mengungkapkan bahwa katalis berukuran nanometer merupakan katalis yang efisien dan dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi (Yoon et al., 2003; Stevens et.al., 2005). Tingginya luas permukaan terhadap perbandingan volume dari nanopartikel logam oksida memainkan peranan penting dari kemampuan katalis tersebut (Bell, 2003).

Dalam katalis heterogen, reaktan dan katalis berada dalam fasa yang berbeda. Dalam katalis heterogen, zat padat yang bertindak sebagai katalis dapat mengikat sejumlah gas atau cairan pada permukaannya berdasarkan adsorpsi. Saat ini, proses katalitik heterogen dibagi menjadi dua kelompok besar, reaksi-reaksi reduksi-oksidasi (redoks), dan reaksi-reaksi asam-basa. Reaksi-reaksi redoks meliputi reaksi-reaksi dimana katalis mempengaruhi pemecahan ikatan secara homolitik pada molekul-molekul reaktan menghasilkan elektron tak berpasangan, dan kemudian membentuk ikatan secara homolitik dengan katalis melibatkan elektron dari katalis. Sedangkan reaksi-reaksi asam-basa meliputi reaksi-reaksi dimana reaktan membentuk ikatan heterolitik dengan katalis melalui penggunaan pasangan elektron bebas dari katalis atau reaktan (Li, 2005).

Pada kenyataannya, proses katalis heterogen pada permukaan padatan selalu berhubungan dengan adsorpsi molekul reaktan dan desorpsi produk. Kajian kontak katalis didasarkan pada proses adsorpsi – desorpsi. Akibat terjadinya adsorpsi kimia, aktivitas molekul mengalami perubahan. Atom yang teradsorpsi menjadi lebih reaktif dibandingkan molekul bebasnya, karena mengalami pemutusan ikatan kovalen atau ikatan hidrogen (Adamson, 1990).

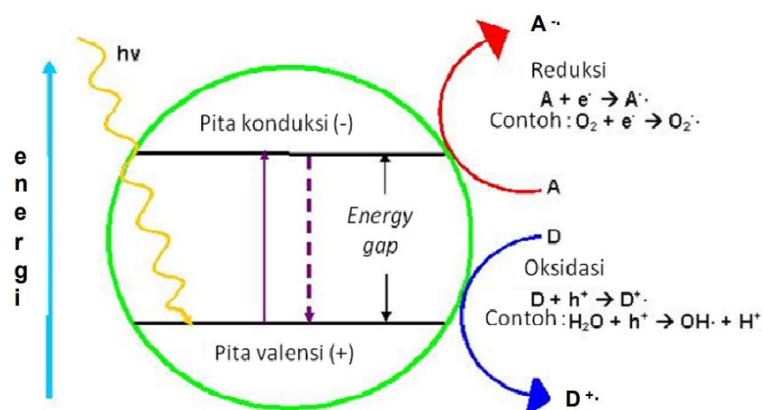
Sebagian besar industri kimia menggunakan katalis heterogen. Keuntungan pemakaian katalis heterogen (berupa padatan) adalah jenis katalisnya banyak, mudah dimodifikasi dan dapat diregenerasi pada suhu pemisahan serta dapat digunakan untuk mereaksikan senyawa yang peka terhadap suasana asam dan tidak merusak warna hasil reaksi. Persyaratan utama suatu katalis heterogen adalah permukaan yang aktif dan mampu mengadsorpsi reaktan. Kelebihan utama katalis heterogen adalah kemudahannya dipisahkan dari hasil reaksi (Berry et.al., 1980). Hal ini dapat diwujudkan dengan menyiapkan katalis dalam ukuran yang lebih kecil yaitu ukuran nano. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan NiMoFe₂O₄ sebagai katalis heterogen dan diharapkan sebagai nanokatalis.

D. Fotokatalis

Fotokatalis berasal dari kata foto dan katalis. Foto didefinisikan sebagai sinar, sedangkan katalis didefinisikan sebagai suatu zat yang mempercepat reaksi. Fotokatalis merupakan percepatan dari reaksi yang berjalan karena adanya cahaya. Salah satu contoh dari reaksi yang berjalan karena adanya cahaya adalah reaksi fotosintesis. Untuk reaksi jenis tersebut, reaksi dapat dipercepat dengan

cara menambahkan katalis. Jadi, fotokatalisis adalah suatu proses untuk mempercepat reaksi yang berjalan karena adanya cahaya dengan menggunakan katalis.

Aktivitas fotokatalis bergantung pada kemampuan katalis untuk menghasilkan sepasang electron-hole pada pita valensinya. Holes ini kemudian akan berfungsi sebagai tempat terjadinya oksidasi. Keberadaan electron-hole tersebut akan mempercepat proses transfer elektron yang terjadi. Dengan demikian, keberadaan dari pasangan elektron-hole akan mempercepat reaksi redoks⁷⁻¹⁰. Mekanisme fotokatalis ditunjukkan pada Gambar 2.2 Saat ini, semikonduktor biasa dipilih sebagai fotokatalis karena semikonduktor memiliki energy gap yang relatif kecil antara valence band dan conduction band. Energy gap adalah perbedaan energi antara valence band dan conduction band. Untuk berlangsungnya proses katalisis, semikonduktor memerlukan serapan energi yang sama atau lebih dari energi gap.



Gambar 2.2. Mekanisme fotokatalisis

Secara umum, mekanisme fotokatalisis adalah pembentukan radikal OH⁻ dan pembentukan spesi super oksida anion dari oksigen. Ketika fotokatalis mengabsorpsi cahaya dengan panjang gelombang tertentu, maka fotokatalis akan memperoleh energi. Energi tersebut akan digunakan untuk eksitasi elektron dari pita valensi (valence band) menuju pita konduksi (conduction band). Setelah elektron tereksitasi, akan dihasilkan suatu hole pada pita valensi.

Hole akan memecah air membentuk suatu hidroksi radikal. Hidroksi radikal tersebut kemudian akan bereaksi dengan molekul organik dan memecah senyawa organik tersebut menjadi senyawa intermediet lain yang akan mengalami reaksi lebih lanjut. Elektron yang tereksitasi akan bereaksi dengan oksigen untuk membentuk spesi anion super oksida. Anion super oksida akan bereaksi dengan senyawa hasil pemecahan molekul organik membentuk produk. Siklus ini akan terus berulang sampai reaksi selesai.

Aplikasi fotokatalitik sangatlah luas. Aplikasi yang telah diterapkan saat ini adalah untuk mendegradasi zat warna, degradasi molekul organik, dan penguraian limbah. Katalis untuk reaksi fotokatalitik yang umum digunakan saat ini adalah senyawa TiO₂.

E. Semikonduktor

Semikonduktor merupakan bahan yang memiliki energi celah (E_g) antara 0,5-5,0 eV. Bahan dengan energi celah di atas kisaran energi celah semikonduktor merupakan isolator. Energi celah atau *band gap* pada semikonduktor, menyebabkan proses penggabungan kembali elektron dan hole yang dihasilkan

dari proses fotoeksitasi tidak cepat terjadi. Hal ini menyebabkan waktu hidup pasangan electron-hole menjadi lebih lama, sehingga dapat mengalami transfer muatan pada permukaan. (Linsebigler, Lu, & Yates, 1995)

Semikonduktor yang menyerap cahaya dengan energi yang sama atau lebih besar dari energi celahnya akan menghasilkan fotoelektron dan Fotohole, yang dapat dikelola untuk menjalankan reaksi redoks. Secara termodinamik, tingkat energi pada sisi pita konduksi merupakan ukuran kekuatan reduksi dari elektron, sedangkan energi pada sisi pita valensi menunjukkan kekuatan hole untuk melakukan oksidasi.

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

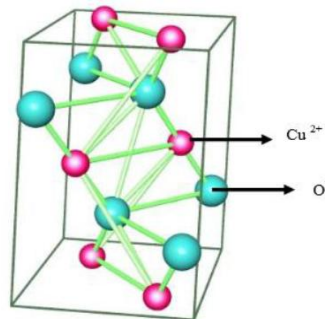
GaSb	0,80	SrTiO ₃	3,40
Si	1,10	ZnS	3,90
CdTe	1,60	AlN	4,60

F. Tembaga Oksida

Tembaga oksida terkenal dua bentuk: tenorite (CuO) dan cuprite (Cu₂O). Tenorite dan cuprite keduanya adalah semikonduktor tipe-p yang memiliki energi celah yang berbeda. *Cupric oxide* (CuO) adalah semikonduktor tipe-p yang memiliki celah pita 1,21-1,51 eV dan struktur kristal monoklinik, celah pitanya terlihat pada daerah inframerah. *Cuphed oxide* (Cu₂O) juga merupakan semikonduktor tipe-p yang memiliki celah pita sekitar 2,0 eV dan struktur kristal kubik (Papadimitropoulos. G, 2006: 2428–2432)

Tembaga oksida (CuO) merupakan salah satu senyawa tembaga oksida yang merupakan bahan semikonduktor tipe-p dengan band gap 1,2 eV (Johan, 2011). *Tembaga Oksida memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki temperatur superkonduktivitas yang tinggi, efek korelasi elektron, dan dinamika spin. Tembaga oksida diaplikasikan di berbagai bidang antara lain sebagai katalis, baterai, sensor gas, penghantar panas, dan untuk energi surya. Struktur kristal Tembaga Oksida memiliki band gap yang kecil sehingga sifat fotokatalisis dan fotovoltaiik sangat berguna. Dalam penelitian yang sudah dilakukan tembaga*

dapat bereaksi dengan oksigen pada temperatur 400 °C sehingga terbentuk senyawa CuO .



Gambar 2.3. Struktur kristal tembaga oksida (CuO)

G. Spektrofotometer

Spektrofotometri adalah pengukuran energi cahaya oleh suatu sistem kimia pada panjang gelombang tertentu. Sinar ultraviolet (UV) mempunyai panjang gelombang antara 200-400 nm, dan sinar tampak (visible) mempunyai panjang gelombang 400-750 nm. Pengukuran spektrofotometri menggunakan alat spektrofotometer yang melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometer UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif dibandingkan kualitatif. Spektrum UV-Vis sangat berguna untuk pengukuran secara kuantitatif

Prinsip kerja dari spektrofotometer ini adalah Cahaya yang berasal dari lampu deuterium maupun wolfram yang bersifat polikromatis di teruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu kemudian akan dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diabsorpsi)

dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian di terima oleh detector. Detector kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif.

Spektrofotometer terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrofotometer menghasilkan sinar dan spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Spektrofotometer tersusun atas sumber spektrum yang kontinyu, monokromator, sel pengabsorpsi untuk larutan sampel atau blangko dan suatu alat untuk mengukur perbedaan absorpsi antara sampel dan blangko ataupun pembandingan (Khopkar, 1990).

Spektrofotometri UV-Vis adalah bagian dari teknik analisis spektroskopik yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat dan sinar tampak dengan memakai instrument spektrofotometer dengan panjang gelombang tertentu. Sinar ultraviolet dekat (UV) mempunyai panjang gelombang antara 200-400 nm, dan sinar tampak (visible) mempunyai panjang gelombang 400-800 nm (Adeeyinwo *et al.*, 2013).

Spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk informasi kualitatif maupun kuantitatif. Spektrofotometri UV-Vis lebih banyak digunakan untuk analisis kuantitatif karena melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang akan dianalisis. Dalam aspek kuantitatif, suatu berkas radiasi dikenakan pada larutan sampel dan intensitas sinar radiasi yang diteruskan diukur

besarnya. Radiasi yang diserap oleh sampel ditentukan dengan membandingkan intensitas sinar yang diteruskan dengan intensitas sinar yang diserap.

Metode spektrofotometer inilah yang tepat untuk menetapkan antara konsentrasi zat-zat dalam larutan. Setiap komponen dari instrumen yang dipakai harus berfungsi dengan baik untuk mendapatkan hasil pengukuran yang optimum.

Komponen-komponen penting spektrofotometer adalah :

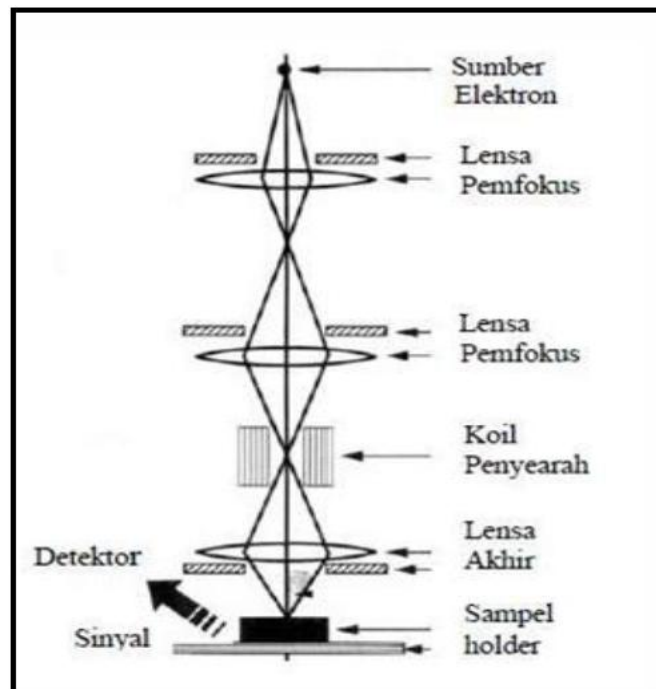
1. Suatu sumber energi cahaya
2. Sebuah monokromator, yakni suatu peranti untuk memencilkan cahaya monokromatik, atau lebih tepat, pita-pita sempit energi cahaya dari sumbernya.
3. Sel/kuvet kaca atau silika untuk pelarut dan larutan yang diuji, dan
4. Sebuah peranti untuk menerima atau mengukur berkas atau berkas-berkas energi cahaya yang melewati pelarut atau larutan (Basset, 1994).

Prinsip kerja dari spektrofotometer UV-Vis dimana suatu daerah akan diabsorpsi oleh atom atau molekul di dalam larutan dan panjang gelombang cahaya yang ditransmisikan melalui larutan akan diserap (diabsorpsi) dari sebagian energi cahaya tersebut. Istilah absorbansi (A) merupakan kemampuan atom atau molekul zat terlarut untuk mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu, yang mana setara dengan nilai konsentrasi larutan tersebut dan berkas cahaya yang dilalui (biasanya 1 cm dalam spektrofotometri) ke suatu titik dimana presentase jumlah cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi diukur dengan phototube (Susanti, 2010).

H. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Karakteristik dengan *scanning electron microscope* (SEM) dilakukan untuk mengetahui morfologi sampel dalam berbagai bidang. Prinsipnya adalah sifat gelombang dari elektron yakni difraksi pada sudut yang kecil. Elektron dapat didifraksikan oleh sampel yang bermuatan, untuk sampel nonkonduktor dilakukan pelapisan dengan karbon, emas atau paduan emas, yang berfungsi untuk mengalirkan muatan elektron berlebih pada sampel ke ground. Pola yang berbentuk menggambarkan struktur dari sampel (Mulyaningsih, 2007). Skema prinsip kerja SEM dapat dilihat pada gambar 2.4.

Cara kerja adalah pertama kali elektron gun menghasilkan *electron beam* dari filament. Pada electron gun digunakan tungsten *hairpin gun* dengan filament berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katode. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Katode kemudian membentuk gaya yang dapat menarik elektron ke anode. Lenza magnetik (*electron lens*) memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel. Sinar elektron yang terfokuskan memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron menjadi elektron sekunder atau *backscattered electron* dari permukaan sampel dan dideteksi oleh detector, sehingga signal dari detector dikuatkan oleh amplifier dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor (Abdullah dan Khairurrijal, 2010).



Gambar 2.4. Skema scanning electron microscopy

I. X – Ray Diffraction (XRD)

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik, akan menunjukkan gejala difraksi bila sinar tersebut jatuh pada jarak antar atomnya kira-kira sama dengan panjang gelombang sinar tersebut. Bila berkas elektron menjeruji suatu kristal, maka sinar-X yang terbentuk akan di hamburkan. panjang gelombang hamburan ini keluar dari seluruh atom dalam sampel dan interferensinya dari radiasi hamburan yang bersal dari atom-atom yang berbaeda yang menyebabkan intensitas berbeda (Sibilia, 1996).

Difraksi sinar-x oleh sebuah material terjadi akibat dua fenomena :

1. Hamburan oleh tipa atom

2. Interferensi gelombang-gelombang oleh tiap atom-atom tersebut. interferensi ini terjadi karena gelombang-gelombang yang dihamburkan oleh atom memiliki korelasi dengan gelombang datang dan demikian dengan mereka sendiri.

X-ray diffraction merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk untuk menganalisis sifat-sifat struktur kristal. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. XRD atau X-Ray Diffraction digunakan untuk menentukan karakteristik di tinjau dari struktur dan ukuran kristal pada suatu sampel. Secara umum X-Ray diffraction terdiri dari tiga bagian utama yaitu, tabung sinar-x, tempat objek, dan detektor sinar-x (Cullity, 1956)

XRD merupakan suatu metode untuk melihat bentuk kristal zat padat. XRD dapat menentukan struktur kristal dengan mengukur selisih antara bidang dalam kristalnya. Dasarnya hukum Bragg dengan persamaan:

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

Dimana :

n = Orde difraksi (bilangan bulat)

λ = Panjang gelombang sinar yang sefasa

d = Jarak antar bidang Bragg yang dipilih sebagai bidang hambur

θ = Sudut datang terhadap bidang Bragg

Persamaan ini memberikan hubungan jarak antara bidang dalam kristal dan sudut yang radiasi refleksinya menunjukkan intensitas maksimum untuk

panjang gelombang tertentu. Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk membedakan antara material yang bersifat kristal dengan amorf, menentukan struktur kristal dan mengidentifikasi fasa kristal (Skoog, 1998).

Identifikasi spesies dari pola difraksi didasarkan pada posisi garis (dalam θ dan 2θ) dan intensitas relatifnya. Harga 2θ ditentukan oleh harga d , dengan bantuan persamaan Bragg, maka harga d dapat dihitung dari panjang gelombang yang diketahui dan sudut terukur. Intensitas garis tergantung pada jumlah dan jenis susunan atom pemantul yang ada pada setiap lapisan. Identifikasi kristal dilakukan secara empiris dimana diperlakukan data standar mengenai harga d dan garis intensitas dari senyawa murni. Dengan mengukur intensitas dari garis difraksi dan membandingkannya dengan standar maka analisis kuantitatif dari campuran kristal dapat dilakukan (Skoog and West, 1980).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Telah dilakukan penelitian tentang degradasi asam humat menggunakan reaktor yang didisain
2. Reaktor yang telah dibuat terdiri atas dua disain yaitu disain pertama menggunakan 8 buah CuO dan disain kedua menggunakan 1 buah CuO
3. Waktu penyinaran sangat mempengaruhi proses fototransformasi asam humat
4. Persentase degradasi yang dihasilkan paling tinggi sebesar 32,80 % menggunakan reaktor jenis kedua.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan untuk menggunakan semikonduktor yang lainnya untuk menghasilkan persentase degradasi yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin. 2008. *Review Sintesis Nanomaterial*. ITB: Bandung
- Agus, F dan I.G.M. Subakti.(2008). Lahan Gambut : Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan ICRAF. Bogor. 36 hal.
- Al-Kuhaili. M.F. 2007. *Characterization of copper oxide thin films deposited by the thermal evaporation of cuprous oxide (Cu₂O)*. Physics Department, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia. 623-629
- Anam, Choirul. Sirojudin dkk.(2007). Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR. *Berkala Fisika*. Vol 10 no.1. 79 – 85
- Atkins. P.w. 1989. *Kimia Fisika jilid 2 Edisi ke-empat*. Erlangga, ISBN 22-00-032-4, hal: 308-313.
- Aziz, H., Alif, A., Ariani, R., Trisna, L., Wahyuni, A., Munaf, E., Biomaterials supported with titania as photocatalyst in peat water purification, *J. Chem.Pharm. Res.*, 2015, 7(6): 192-197
- Badan Restorasi Gambut, (2016). 'Rencana Strategis Badan Restorasi Gambut Tahun 2016-2020', *Badan Restorasi Gambut*, November 2016
- Cullity. 1956. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesly pub,co.inc. Massachusetts
- Dadan Suherman & Nyoman Sumawijaya .(2013). Removing Colour and Organic Content of Peat Water Using Coagulation and Flocculation Method In Basaltic Condition *Ris.Geo.Tam*. Vol. 23, No.2, 127-139
- Dauglas A. Skoog, et al.1998. *Principle Of Instrument Analysis 5th Edition*. Harcouth Brace College Publisher: USA
- Fiolida, Intan Agnes Singyu (2016) *Preparasi dan Karakterisasi Komposit CuO-Zeolit Alam Untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B dengan Sinar Ultraviolet*. S2 thesis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNY