



**SINTESIS KOMPOSIT  $\text{TiO}_2$ -ZEOLIT MENGGUNAKAN  
METODE SOL-GEL UNTUK REDUKSI KROMIUM VI (Cr VI)**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Prayunda Setia Prameswari**  
**NIM 151810201007**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2020**

## **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Esmi Kurniasih, Ayahanda Yanhar Tri Raharjo, adik Masayu Dewi Laillya dan seluruh keluarga yang memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil, serta doa-doa yang tak pernah ada putusnya.
2. Guru-guruku sejak Taman Kanak-Kanak hingga Sekolah Menengah Atas dan Dosen-dosen serta Teknisi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember yang telah mendidik dengan penuh perhatian, kesabaran, dan keikhlasan.
3. Teman-temanku sejak Taman Kanak-Kanak hingga Perguruan Tinggi yang dengan tulus menemaniku disaat duka maupun suka.
4. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

## **MOTTO**

“Barang siapa bertaqwa kepada Allah niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam segala urusannya”  
(terjemahan Surah Ath-Thalaq ayat 4)<sup>\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup>Departemen Agama Republik Indonesia. 2002. *Alquran dan Terjemahannya*. Surabaya: Mahkota.

## **PERNYATAAN**

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Prayunda Setia Prameswari

NIM : 1451810201007

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit Menggunakan Metode Sol-Gel Untuk Reduksi Kromium VI (Cr VI)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2020  
Yang menyatakan,

Prayunda Setia Prameswari  
NIM 151810201007

## **SKRIPSI**

### **SINTESIS KOMPOSIT TiO<sub>2</sub>-ZEOLIT MENGGUNAKAN METODE SOL-GEL UNTUK REDUKSI KROMIUM VI (Cr VI)**

Oleh

Prayunda Setia Prameswari

NIM 151810201007

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Sujito, Ph.D.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit Menggunakan Metode Sol-Gel Untuk Reduksi Kromium VI (Cr VI)” telah diuji dan disahkan :

Hari, tanggal :

Tempat :

### Tim Penguji:

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Sutisna, S.Pd, M.Si  
NIP. 197301152000031001

Drs. Sujito, Ph.D.  
196102041987111001

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.  
NIP. 196912251999031001

Agung T. Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D.  
NIP. 196812191994021001

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas MIPA

Drs. Sujito, Ph.D  
NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Sintesis Komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit Menggunakan Metode Sol-Gel Untuk Reduksi Kromium VI (Cr VI);** Prayunda Setia Prameswari, 151810201007; 2020 : 58 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kromium merupakan salah satu unsur kimia dengan lambang Cr dan memiliki nomor atom 24. Kromium memiliki variasi tingkat oksidasi yang paling banyak sehingga, logam kromium lebih banyak membentuk berbagai senyawa. Kromium memiliki valensi mulai dari 0 hingga VI dengan tingkat valensi III paling stabil dan valensi VI paling toksik. Kegiatan manusia yang banyak menghasilkan kromium salah satunya jenis industri pertambangan, industri manufaktur, industri tekstil maupun industri pewarnaan kulit. Oleh sebab itu kromium banyak ditemukan dalam badan air baik sebagai kromium trivalen maupun kromium heksavalen. Dosis kromium yang terlalu tinggi bahkan dapat menyebabkan kematian. Pengolahan larutan Cr VI dilakukan menggunakan material TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis semikonduktor dan zeolit sebagai adsorben. Kedua material ini akan disintesis menggunakan metode solgel sehingga menghasilkan material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit.

Karakteristik material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit yang disintesis menggunakan metode solgel ditinjau menggunakan beberapa karakterisasi. Karakterisasi SEM-EDX untuk mengetahui morfologi permukaan material serta komposisi unurnya, Identifikasi ikatan antara TiO<sub>2</sub> dengan zeolit dikarakterisasi menggunakan FTIR, serta fasa kristal yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan XRD. Analisis morfologi menggunakan SEM menunjukkan permukaan yang tidak rata, namun komposisi unsur material diperkuat oleh data EDX. Keberadaan Ti juga dapat dilihat pada hasil karakterisasi FTIR. Hasil analisa kristalinitas menunjukkan bahwa material yang disintesis ada pada fase kristal anatase yang mana TiO<sub>2</sub> memiliki aktivitas fotokatalitik paling tinggi ketika berada dalam fase anatase dibandingkan dengan fase lainnya.

Aktivitas material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit dalam mereduksi Cr diamati

menggunakan spektrofotometer UV-Vis agar diketahui banyaknya reduksi Cr VI yang mampu dilakukan material hibrida. Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit mampu mereduksi Cr dengan aktivitas lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan TiO<sub>2</sub> atau zeolit secara parsial. Material hibrida yang disintesis menggunakan 1,5 gr zeolit yang didispersikan dalam 6 mL TTIP + 35 mL Isopropil Alkohol + 6 mL CH<sub>3</sub>COOH (Sampel TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5) menunjukkan aktivitas fotokatalitik paling tinggi dari sampel material hibrida lainnya dalam mereduksi Cr VI.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Investigasi Struktur Domain dan Pengaruh Penerapan *Microwave Assisted* Terhadap Bahan *Alloy FePt* Menggunakan Simulasi Mikromagnetik”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Sutisna, S.Pd, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji I dan Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas MIPA Universitas Jember yang selalu membantu dan mendukung;
5. Teman-teman tim fisika material (Aisyah, Ilma, Maulida, Ismel, Dini) yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan penelitian skripsi ini;
6. Sahabat-sahabatku tercinta Kerajaan Kayangan: Luq'il Maknun, Rofiqoh Ulfatul, Ayu Triwardhani, Anis Wardatus, Nurifa Yuni, Cut Yuniatul, Erni Emawati, Pipin Okvitasari dan Dini Ayu yang selalu menyemangati, menasehati serta mengisi hari-hariku dengan tawa dan candaan;
7. Sahabat-sahabat KKN Desbumi 20 2018 (Rio, Nuril, Zahro, Mia, Nova, Rohimah, Andri, Naufal, Wilda) yang telah berjuang bersama selama 45 hari;
8. Teman-teman Kos Putri Indah Lestari Jln. Jawa 7 No.81 A, telah menjadi

saksi proses hidupku selama menjadi mahasiswa;

9. Kawan-kawan pengurus HIMAFI 2017 dan pengurus HIMAFI 2018, telah mengajarkan arti kepengurusan, musyawarah, kepemimpinan dll;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang Fisika.

Jember, Januari 2020  
Yang menyatakan,

Prayunda Setia Prameswari  
NIM 151810201007

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERTANYAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Logam Kromium</b> .....	6
<b>2.2 Proses Adsorpsi</b> .....	7
<b>2.3 Penggunaan Zeolit</b> .....	8
2.3.1 Zeolit Alam Malang .....	8
2.4.2 Zeolit Alam Sebagai Adsorben .....	10
<b>2.4 Proses Fotokatalisis</b> .....	12
<b>2.5 Oksida Logam TiO<sub>2</sub></b> .....	14
2.5.1 Struktur Kristal TiO <sub>2</sub> .....	14
2.5.2 TiO <sub>2</sub> Sebagai Katalis .....	16

<b>2.6 Material Hibrida</b> .....	17
2.6.1 Sintesis Material Hibrida dengan Metode Sol-Gel.....	17
2.6.2 Karakterisasi Material Hibrida .....	18
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	23
<b>3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian</b> .....	23
<b>3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian</b> .....	24
<b>3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran</b> .....	25
3.3.1 Variabel .....	25
3.3.2 Skala Pengukuran .....	25
<b>3.4 Kerangka Pemecahan Masalah</b> .....	26
3.4.1 Tahap Penyiapan Zeolit Alam.....	26
3.4.2 Tahap Sintesis Material Hibrida TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	28
3.4.3 Tahap Karakterisasi Material Hibrida TiO <sub>2</sub> -zeolit .....	29
3.4.4 Tahap Uji Coba Material Hibrida TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	29
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
<b>4.1 Sintesis Material Hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit</b> .....	31
<b>4.2 Karakterisasi Material</b> .....	34
4.2.1 Karakterisasi FTIR .....	36
4.2.2 Karakterisasi XRD.....	37
4.2.3 Karakterisasi SEM-EDX .....	38
<b>4.3 Uji Coba Aktivitas Material</b> .....	41
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	48
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	48
<b>5.2 Saran</b> .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	50

## DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Hasil karakterisasi XRF zeolit alam Malang .....	8
2.2 Klasifikasi zeolit ditinjau dari rasio Si/Al .....	10
2.3 Stabilitas zeolit terhadap suhu .....	10
2.4 Perbandingan sifat dari berbagai bentuk kristal TiO <sub>2</sub> .....	15
4.1 Hasil Analisis FTIR .....	36
4.2 Perbandingan Pola XRD TiO <sub>2</sub> Hasil Sintesis dengan TiO <sub>2</sub> Referensi ....	36
4.3 Banyaknya R Setelah Irradiasi.....	47

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur zeolit modernit.....	8
2.2 Energi celah pita pada semikonduktor.....	11
2.3 Skema proses fotoeksitasi pada suatu bahan semikonduktor .....	12
2.4 Struktur polimorf kristal TiO <sub>2</sub> .....	15
2.5 Pola difraksi Hukum Brag .....	18
2.6 Skema dari FTIR.....	20
3.1 Rancangan Penelitian Secara Umum.....	22
3.2 Skema Kerangka Pemecahan Masalah .....	25
3.3 Diagram Alir Aktivasi Zeolit Alam.....	26
3.4 Diagram Alir Sintesis Material Hibrida TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	27
3.5 Peralatan uji coba material TiO <sub>2</sub> -zeolit pada larutan K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .....	29
4.1 Proses Penyiapan Zeolit Alam.....	32
4.2 Proses Sintesis Material Hibrida TiO <sub>2</sub> -zeolit.....	33
4.3 Spektrum Serapan FTIR untuk Material yang Disintesis.....	34
4.4 Spektrum XRD dari TiO <sub>2</sub> Hasil Sintesis Solgel .....	36
4.5 Morfologi Permukaan Zeolit Menggunakan SEM .....	38
4.6 Spektrum EDX dan Komposisi Unsur Zeolit .....	39
4.7 Morfologi Permukaan TiO <sub>2</sub> -zeolit Menggunakan SEM.....	40
4.8 Spektrum EDX dan Komposisi Unsur Material Hibrida TiO <sub>2</sub> -zeolit....	40
4.9 <i>UV Chamber</i> .....	42
4.10 Sampel Larutan K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> Irradiasi Selama 10 jam .....	43
4.11 Spektrum Absorbansi UV-Vis Larutan K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .....	45
4.12 Grafik Waktu Irradiasi Terhadap R .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1.1 Membuat 1000mL HCl 6 M .....	55
Lampiran 2.1 Spektrum serapan FTIR untuk material yang disintesis .....	56
Lampiran 2.2 EDX zeolit .....	56
Lampiran 2.3 EDX zeolit dan komposisi unsurnya .....	57
Lampiran 2.4 EDX TiO <sub>2</sub> -zeolit .....	57
Lampiran 2.5 EDX TiO <sub>2</sub> -zeolit dan komposisi unsurnya .....	57
Lampiran 3.1 Absorbansi maksimum tiap jam .....	58
Lampiran 3.2 Perhitungan sisa Cr VI yang belum direduksi (%) .....	58
Lampiran 3.3 Perhitungan Cr yang tereduksi (%) .....	58

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kromium merupakan salah satu unsur kimia dengan lambang Cr dan memiliki nomor atom 24. Kromium merupakan atom pertama golongan ke enam yang berarti memiliki 6 tingkat oksidasi. Kromium memiliki valensi mulai dari 0 hingga VI dengan tingkat valensi III paling stabil dan valensi VI paling toksik. Titik didih yang dimiliki kromium sebesar 2690 °C dan titik lelehnya mencapai 1900 °C. (Kristian & Retno, 2010).

Kegiatan manusia yang banyak menghasilkan kromium salah satunya jenis industri pertambangan, industri manufaktur, industri tekstil maupun industri pewarnaan kulit. Oleh sebab itu kromium banyak ditemukan dalam badan air baik sebagai kromium trivalen maupun kromium heksavalen. Meskipun logam kromium juga dibutuhkan sebagai *micro-nutrient* yang berperan dalam metabolisme gula pada manusia dan hewan, namun konsentrasi kromium yang terus meningkat akan mempengaruhi toksisitasnya. Tubuh makhluk hidup yang menyerap kromium dengan toksisitas tinggi dapat berpengaruh pada kesehatan, efek mutagenik pada bakteri serta efek mutagenik dan karsinogenik pada manusia dan hewan. Dosis kromium yang terlalu tinggi bahkan dapat menyebabkan kematian (Dhal *et al.*, 2013).

Cr diketahui tidak larut dalam air maupun asam nitrat, serta sukar bercampur dengan halogen, peroksida, logam dan basa, namun Cr dapat dilarutkan menggunakan asam klorida dan asam sulfat yang encer. Cr banyak digunakan sebagai pelapis logam dan pelapis kromat, serta penyepuhan dan penyamakan kulit (Ahmad, 1992). Sekilas deskripsi mengenai Cr tentu saja menunjukkan bahwasanya Cr berbahaya untuk lingkungan, terutama apabila bercampur dengan limbah cair yang mengalir tanpa ada penyaring. Pengolahan logam kromium banyak dilakukan sebelumnya baik secara fisika, kimia, maupun biologi. Salah satu proses pengolahan logam kromium adalah reduksi, oksidasi, adsorpsi, maupun pertukaran ion. Pendekatan pengolahan logam kromium nyatanya masih memiliki beberapa

kelemahan seperti biaya pengolahan yang relatif tinggi atau proses penyisihan kromiumnya masih tidak sempurna. Konsentrasi logam kromium juga mempengaruhi banyaknya keterbatasan jenis pengolahannya. Oleh sebab itu masih banyak industri yang langsung membuang limbah kromium yang dihasilkan tanpa melalui proses lebih lanjut (Dhal *et al.*, 2013). Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan guna mencari tahu potensi material yang mampu digunakan sebagai pereduksi Cr VI.

Absorpsi merupakan proses penyaringan atau pengikatan molekul baik berupa zat cair maupun zat padat. Suatu bahan yang memiliki kemampuan mengikat atau menyaring molekul disebut sebagai adsorben. Proses adsorpsi yang berlangsung pada dinding pori material menjadikan kegiatan adsorpsi dapat terjadi bila zat penyaring dan zat yang ingin disaring melakukan kontak langsung baik melalui metode pelarutan ataupun metode penyaringan yang lainnya. Adapun salah satu bahan yang memiliki kemampuan baik dalam proses absorpsi adalah zeolit (Kahar, 2007).

Zeolit merupakan mineral alam yang masuk dalam golongan mineral silika serta dinyatakan sebagai alumina silika terhidrasi yang dihasilkan dari proses sedimentasi, pelapukan, maupun aktivitas hidrotermal. Zeolit memiliki bentuk halus yang ketika dipanaskan dapat melepas molekul H<sub>2</sub>O tanpa mengalami perubahan kerangka dasar. Kemampuan zeolit sebagai adsorben memungkinkan adanya adsorpsi baik fisika, kimia, serta ikatan hidrogen. Pori-pori yang dimiliki zeolit memungkinkan adanya penyerapan yang menempati pori-pori tersebut, sehingga besarnya daya serap yang dapat dilakukan bergantung pada jumlah pori dan luas permukaan zeolit (Hasibuan, 2012). Zeolit yang digunakan dalam percobaan ini merupakan zeolit alam mordenit yang memiliki perbandingan Al:Si mencapai 1:5. Zeolit alam mordenit dipilih pada percobaan ini karena dinilai lebih stabil dibandingkan zeolit yang perbandingan Al:Si nya 1:1 (Rini, 2010).

Penelitian sebelumnya mengenai penggunaan zeolit alam sebagai adsorben logam Cr pernah dilakukan salah satunya oleh Lisanti *et al* (2013) yang melakukan variasi suhu aktivasi zeolit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu aktivasi zeolit akan berpengaruh pada penyerapan ion Cr pada permukaan zeolit. Bahan

adsorben zeolit mampu menyaring banyak Cr namun tidak mampu menghancurkan ion Cr itu sendiri. Oleh karena itu, setelah zeolit berhasil menyerap Cr, dibutuhkan pengolahan lebih lanjut agar ion Cr benar-benar hilang. Selain itu, permukaan zeolit yang telah dipenuhi Cr selama proses absorpsi berlangsung akan membuat kemampuan penyerapan Cr oleh zeolit menurun dengan sendirinya.

Cr VI yang digunakan dalam penelitian merupakan senyawa  $K_2Cr_2O_7$  yang dilarutkan menggunakan air suling. Pembuatan larutan Cr VI menggunakan senyawa  $K_2Cr_2O_7$  yang dilarutkan menggunakan air suling telah banyak dilakukan sebelumnya, salah satunya dilakukan oleh Andini (2017). Pemilihan senyawa  $K_2Cr_2O_7$  sebagai larutan Cr VI yang akan diuji menggunakan beberapa material. Senyawa  $K_2Cr_2O_7$  banyak digunakan dalam industri penyamakan kulit yang limbahnya kembali ke lingkungan dalam bentuk Cr VI. Oleh karena itu senyawa ini dipilih sebagai larutan Cr VI pengganti limbah Cr VI di lingkungan.

Upaya yang dilakukan untuk proses reduksi Cr secara maksimal banyak dilakukan salah satunya pernah dilakukan Slamet (2003) yang melakukan penelitian mengenai reduksi Cr menggunakan  $TiO_2$  secara murni maupun dengan penambahan material lain seperti Cu atau CuO. Hasil yang didapatkan pada percobaan ini adalah  $TiO_2$  murni mampu mereduksi limbah Cr VI. Namun karena daya serap  $TiO_2$  yang masih relatif rendah menyebabkan banyaknya reduksi Cr VI yang mampu dilakukan juga terbatas. Proses fotokatalis yang terjadi di permukaan  $TiO_2$  tentu saja membuat banyak penelitian lebih lanjut mengenai material lain yang memiliki kemungkinan untuk digabungkan dengan material  $TiO_2$  murni sehingga kemampuan reduksinya mampu ditingkatkan. Oleh sebab itu, metode baru yang lebih efektif dalam proses reduksi Cr VI sangat diperlukan.

Berdasarkan uraian di atas, maka kami bermaksud memadukan kedua material yaitu zeolit dan  $TiO_2$  menjadi material hibrida  $TiO_2$ -zeolit yang akan di aplikasikan untuk reduksi Cr VI. Harapan kami adalah bahwa paduan kedua material  $TiO_2$  dan zeolit akan memiliki potensi aktivitas lebih baik dalam proses reduksi Cr VI dibandingkan dengan jika digunakan masing-masing secara parsial. Adapun proses sintesis material hibrida  $TiO_2$ -zeolit akan dilakukan menggunakan metode solgel. Penggunaan metode solgel sendiri digunakan karena memiliki stabilitas termal

yang baik serta daya tahan pelarut yang baik.

Selain melakukan sintesis material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit, akan dilakukan proses karakterisasi material hibrida yang dihasilkan agar karakteristik material hibrida yang mampu mereduksi Cr VI dengan baik dapat diketahui. Adapun karakterisasi yang akan dilakukan meliputi karakterisasi SEM-EDS untuk mengetahui morfologi permukaan material yang dihasilkan serta unsur apa saja yang terkandung dalam material tersebut. Karakterisasi FTIR agar diketahui gugur fungsi pada material serta karakterisasi XRD untuk melihat tingkat kristalinitas yang terbentuk pada material hibrida yang dihasilkan. Selain karakterisasi untuk melihat karakteristik material yang dibuat, dilakukan juga karakterisasi UV-Vis untuk mengetahui penurunan absorbansi Cr VI yang berhasil dilakukan menggunakan material hibrida yang dihasilkan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Melalui latar belakang yang mendasari dilakukannya penelitian, maka rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana aktivitas reduksi senyawa Cr VI dari masing-masing material yang diaplikasikan?
2. Bagaimana karakteristik morfologi permukaan, komposisi unsur, gugus fungsi, serta kristalinitas dari material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit yang digunakan untuk mereduksi Cr VI?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun yang membatasi ruang lingkup masalah yang diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Larutan Cr VI yang digunakan adalah senyawa K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang dilarutkan menggunakan aquades.
2. Reduksi larutan Cr VI ditinjau melalui absorbansi yang diuji menggunakan Spektrofotometer UV-Vis.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Berkaitan dengan rumusan masalah yang telah ditentukan, tujuan yang ingin

dicapai yaitu mengkaji potensi aplikasi material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit dalam proses reduksi Cr VI. Kajian yang dilakukan meliputi aktivitas material selama proses reduksi dilakukan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan setelah melakukan penelitian ini adalah:

1. Dapat menambah keragaman metode yang dapat digunakan untuk mereduksi logam berat.
2. Dapat mengetahui potensi aplikasi material komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit untuk digunakan dalam instalasi pengolahan Cr VI.
3. Dapat memberikan kontribusi untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam bidang rekayasa material untuk aplikasi remediasi lingkungan.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab 2 ini akan diberikan penjelasan tentang berbagai hal yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Penjelasan tentang logam kromium, proses adsorpsi dan fotokatalisis, penggunaan zeolit dan  $\text{TiO}_2$  sebagai pereduksi Cr VI, material hibrida, dan diakhiri dengan teknik karakterisasi material.

### 2.1 Logam Kromium

Kromium adalah salah satu unsur kimia dalam tabel periodik dengan lambang Cr dan nomor memiliki nomor atom 24. Kromium adalah atom pertama golongan ke enam. Logam golongan 6 tingkat oksidasi rendah semakin tidak stabil dengan naiknya nomor atom. Jadi, kromium mempunyai variasi tingkat oksidasi yang paling banyak sehingga, logam kromium lebih banyak membentuk berbagai senyawa. Logam kromium merupakan salah satu logam berat yang memiliki berat atom sebesar 51,996. Kromium memiliki valensi mulai dari 0 hingga VI dengan tingkat valensi III paling stabil dan valensi VI paling toksik. Konfigurasi yang dimiliki kromium menyimpang dari diagram aufbau, serta asam non oksidator akan lebih mudah bereaksi dengan kromium. Titik didih yang dimiliki kromium sebesar  $2690\text{ }^\circ\text{C}$  dan titik lelehnya mencapai  $1900\text{ }^\circ\text{C}$ . (Kristian & Retno, 2010).

Kromium trivalen dalam badan air ditemukan sebagai  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ , dan  $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$ , sedangkan kromium heksavalen ditemukan sebagai  $\text{CrO}_4^{2-}$  dan  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ . Ketika berada dalam kondisi heksavalen, logam kromium mampu larut dalam air, sedangkan pada kondisi trivalen logam kromium akan teradsorpsi pada mineral tanah atau mengalami presipitasi karena lingkungan yang asam atau basa. Salah satu kegiatan manusia yang banyak menghasilkan kromium adalah beberapa jenis industri meliputi industri pertambangan, industri manufaktur, industri tekstil, terutama industri pewarnaan kulit yang menghasilkan Cr VI (Dhal *et al.*, 2013).

Toksistas logam kromium dipengaruhi oleh sifat dari logam itu sendiri yang mudah mengalami difusi lewat membran sel baik eukariotik maupun prokariotik. Meskipun logam kromium juga dibutuhkan sebagai micro-nutrient yang berperan

dalam metabolisme gula pada manusia dan hewan, namun konsentrasi kromium yang terus meningkat akan mempengaruhi toksisitasnya. Tubuh makhluk hidup yang menyerap kromium dengan toksisitas tinggi dapat berpengaruh pada kesehatan, efek mutagenik pada bakteri serta efek mutagenik dan karsinogenik pada manusia dan hewan. Dosis kromium yang terlalu tinggi bahkan dapat menyebabkan kematian (Dhal *et al.*, 2013).

Pengolahan logam kromium banyak dilakukan sebelumnya baik secara fisika, kimia, maupun biologi. Salah satu proses pengolahan logam kromium adalah reduksi, oksidasi, adsorpsi, maupun pertukaran ion. Pendekatan pengolahan logam kromium nyatanya masih memiliki beberapa kelemahan seperti biaya pengolahan yang relatif tinggi atau proses penyisihannya masih tidak sempurna. Konsentrasi logam kromium juga mempengaruhi banyaknya keterbatasan jenis pengolahannya. Oleh sebab itu masih banyak industri yang langsung membuang limbah kromium yang dihasilkan tanpa melalui proses lebih lanjut (Dhal *et al.*, 2013).

## **2.2 Proses Adsorpsi**

Adsorpsi merupakan proses pengikatan atau penyaringan molekul baik dalam bentuk cair, gas, maupun padatan. Kemampuan suatu bahan dalam mengikat atau menyaring molekul membuatnya disebut sebagai bahan adsorben, sedangkan molekul yang berhasil diikat atau disaring disebut dengan adsorbat. Proses adsorpsi dapat berlangsung ketika kedua zat penyaring dan yang ingin disaring melakukan kontak langsung, dapat melalui pelarutan atau metode penyaringan yang lainnya. Jumlah pori serta luas permukaan adsorben akan mempengaruhi kemampuan adsorpsi karena proses adsorpsi berlangsung pada dinding pori yang langsung melakukan kontak dengan material adsorbat. Selain itu, lamanya waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat juga akan berpengaruh pada proses adsorpsi yang sedang berlangsung (Kahar, 2007).

Menurut Saragih (2008), adsorben dapat dikelompokkan mejadi dua jenis, yaitu adsorben polar dan adsorben non polar. Adsorben polar, yang juga disebut sebagai adsorben hidropolik, antara lain silica gel, alumina aktif, dan zeolit.

Sementara adsorben non polar, yang dapat disebut sebagai adsorben hidropobik, diantaranya adalah polimer adsorben dan karbon aktif.

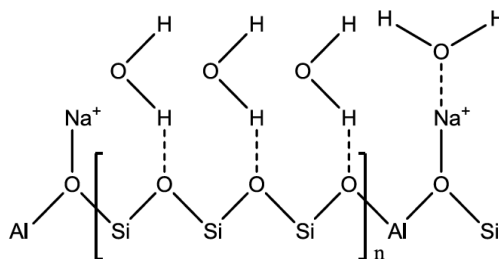
### 2.3 Penggunaan Zeolit

Zeolit adalah mineral yang mengandung kation alkali atau alkali tanah, terdiri dari kristal alumiosilikat terhidrasi dalam kerangka tiga dimensi. Struktur zeolit berongga atau berpori, dengan kemampuan mengikat kation sebagai penyeimbang muatan. Gugus alumina dan gugus silika-oksida yang menyusun zeolit berbentuk tetrahedral dan dihubungkan oleh atom oksigen sehingga bentuknya berupa kerangka tiga dimensi (Rosita *et al.*, 2004).

Zeolit alam Indonesia umumnya memiliki jenis mordenite dan clinoptilolite. Zeolit yang dapat mengadsorpsi gas H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> termasuk dalam golongan mordenite, sedangkan yang dapat mengadsorpsi gas CO, CO<sub>2</sub>, NO termasuk dalam golongan clinoptilolite (Trisunaryanti *et al.*, 2005). Banyaknya variasi struktur zeolit alam membuat perlunya aktivasi zeolit sebelum digunakan. Aktivasi yang dilakukan bertujuan untuk menghilangkan unsur pengotor yang menempel pada zeolit sehingga kemampuan adsorpsinya meningkat (Rosita *et al.*, 2004). Zeolit memiliki kemampuan sebagai adsorben yang unik, dengan ukuran pori kecil sehingga mampu menyerap molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dibandingkan dengan diameter celah rongga zeolit, dan molekul yang besar diameternya lebih besar dibandingkan dengan diameter celah rongga zeolit akan tertahan sehingga hanya akan melintasi partikel. Zeolit yang dipanaskan mampu menyerap gas serta cairan (Trisunaryanti, 2001).

#### 2.3.1 Zeolit Alam Malang

Zeolit alam asal Malang yang berasal dari Turen memiliki jenis zeolit mordenit yang diameter porinya sebesar 6,7-7 Å dengan struktur zeolitnya memiliki rumus kimia M<sub>8</sub>Al<sub>8</sub>Si<sub>40</sub>O<sub>96</sub>.28H<sub>2</sub>O (Prasetyo dkk, 2012).



Gambar 2.1 Struktur zeolit mordenit (Sumber: Intarapong, dkk., 2013)

Zeolit memiliki kemampuan adsorpsi yang bergantung pada rasio kandungan Si dan Al yang ada di dalamnya. Sifat zeolit akan menjadi *hydrophilic* dan mengadsorpsi senyawa polar ketika kandungan Si dan Al nya rendah, sebaliknya akan menjadi *hydrophobic* dan mengadsorpsi senyawa non polar ketika kandungan Si dan Al nya tinggi (Yuliusman dkk, 2013). Karakteristik sifat zeolit berada pada struktur kristalnya, sehingga memiliki luas permukaannya yang cukup besar dan dikenal menjadi adsorben selektif dan efektifitas adsorpsinya tinggi (Newsman, 1991).

Kerangka alumina silikat ( $\text{AlO}_4^{5-}$  dan  $\text{SiO}_4^{4-}$ ) dan air merupakan penyusun utama zeolit.  $\text{AlO}_4^{5-}$  dan  $\text{SiO}_4^{4-}$  yang saling berikatan melalui atom O membentuk suatu kristal. Logam aluminium bervalensi 3 yang terkandung dalam zeolit akan berikatan dengan empat atom oksigen menyebabkan kandungan elektron berlebih pada struktur alumina silikat. Berikut tabel 2.1 menunjukkan hasil karakterisasi XRF zeolit alam Malang.

Tabel 2.1 Hasil Karakterisasi XRF zeolit alam Malang

Unsur	Sebelum aktivasi (%)	Setelah aktivasi (%)
Al	13	12,5
Si	49,9	67,4
Ca	4,26	3,00
Mn	1,27	0,15
Fe	25,3	8,27
Ni	0,04	0,04
Cu	0,097	0,071
Zn	0,33	0,064
Ti	1,28	1,93

(Sumber: Prasetyo dkk, 2012).

Pemanfaatan zeolit untuk mereduksi limbah cair B3 kerap dilakukan karena adanya kandungan aluminium silikat yang memiliki struktur tiga dimensi yang terbentuk oleh tetrahedral  $\text{AlO}_4^{5-}$  dan  $\text{SiO}_4^{4-}$  dengan rongga-rongga yang mampu terisi ion-ion logam alkali maupun alkali tanah (Na, K, Mg, Ca, dan Fe) serta molekul air yang geraknya tidak terbatas. Kandungan senyawa silikat yang cukup besar pada zeolit diperkirakan dapat digunakan sebagai sorben yang efektif baik secara alamiah maupun dilakukan aktivasi terlebih dahulu. Penggabungan molekul-molekul tetrahedral dari kerangka struktur molekuler menyebabkan adanya pori pada struktur zeolit. Celah inilah yang membuat zeolit banyak dimanfaatkan sebagai adsorben maupun penukar ion (Kaufman *et al*, 1951).

### 2.3.2 Zeolit Alam sebagai Adsorben

Zeolit alam banyak dijadikan sebagai adsorben karena memiliki daya adsorpsi relatif besar setelah dilakukannya proses aktivasi. Pertukaran kation yang terjadi selama proses aktivasi dilakukan menyebabkan banyaknya kandungan Si dan Al yang berada pada permukaan zeolit meningkat. Kekuatan zeolit alam sebagai adsorben tidak dapat dilepaskan kaitannya dengan kandungan Si dan Al yang dimiliki suatu zeolit. Oleh sebab itu, zeolit dapat diklasifikasikan menjadi 3 golongan berdasarkan kadar Si yang dimilikinya (Rini, 2010).

#### a. Zeolit dengan kadar Si rendah

Zeolit yang memiliki kadar Si rendah lebih banyak mengandung Al dibandingkan dengan jenis zeolit yang lainnya. Al yang terkandung dalam zeolit jenis ini mampu mencapai perbandingan 1:1 dengan kandungan Si nya. Banyaknya pori pada zeolit jenis Si rendah menyebabkan pertukaran ion dapat berlangsung secara maksimum. Zeolit jenis ini banyak dimanfaatkan untuk pemurnian serta pemisahan yang kapasitasnya besar karena mampu menjadi adsorben yang memiliki daya saring atau daya serap relatif baik.

#### b. Zeolit dengan kadar Si sedang

Zeolit dengan kadar Si sedang memiliki Al yang perbandingannya mencapai 1:5 dengan kandungan Si nya, sehingga zeolitnya sangat stabil apabila dibandingkan dengan zeolit yang memiliki kadar Si rendah. Kerangka tetrahedral

yang dimiliki Al dari zeolit dengan kadar Si sedang tidak stabil terhadap pengaruh asam dan panas. Salah satu jenis zeolit yang memiliki kadar Si sedang adalah zeolit sintesis atau zeolit alam khabasit dan mordenit.

c. Zeolit dengan kadar Si tinggi

Zeolit dengan kadar Si tinggi memiliki perbandingan Al:Si mencapai 1:10-100, oleh sebab itu sifat permukaan zeolit dengan kadar Si tinggi tidak dapat diprediksi. Zeolit jenis ini mampu menyerap dengan baik molekul non-polar sehingga kerap digunakan sebagai katalisator untuk hidrokarbon. Salah satu jenis zeolit jenis ini yaitu zeolit ZSM-5, ZSM-11, ZSM-21, ZSM-24.

Tabel 2.2 Klasifikasi zeolit ditinjau dari rasio Si/Al

Rasio Si/Al	Jenis Zeolit
<i>Low</i> (1-1,5)	A, X
<i>Intermediate</i> (2-5)	a. Zeolit alam: Erionite, Khabasit, Klinoptilolit, Mordenit b. Zeolit sintesis: Mordenit dengan pori yang besar
<i>High</i> (10-∞)	ZSM-5 ( <i>direct synthesis</i> ) Erionit, Y

(Sumber: Ramoa, 1984)

Besar perbandingan yang dimiliki antara banyaknya atom Si dengan Al menyebabkan ada banyak variasi zeolit yang terdapat di alam. Namun diantara banyaknya variasi zeolit yang ada, dapat diketahui mineral pembentuk zeolit diantaranya analsim, habasit, klinoptilolit, erionit, morenit, ferrerit, heulandit, laumontit dan fillipsit. Selain perbandingan Si:Al, konduktivitas juga mempengaruhi fungsi kerja zeolit, karena besarnya konduktivitas berpengaruh pada kapasitas penyerapan kation yang ditukarkan selama zeolit diaktivasi. Zeolit banyak digunakan sebagai adsorben pemurnian air serta reduksi jumlah unsur-unsur logam berat yang terdapat pada limbah cair industri (Erdem *et al*, 2004). Tingkat stabilitas zeolit dapat dilihat dalam tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Stabilitas zeolit terhadap suhu

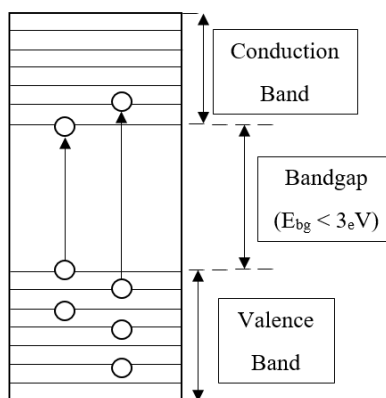
Jenis mineral zeolit	Suhu
Klinoptilolit (Kaya ion Ca)	Maksimal 500°C
Klipnotilolit (Kaya ion K)	Maksimal 800°C

Khabazit	600-865 <sup>0</sup> C
Laumonit	345-800 <sup>0</sup> C
Mordenit	800-1000 <sup>0</sup> C
Filipsit	360-440 <sup>0</sup> C

(Sumber: Erdem *et al*, 2004)

## 2.4 Proses Fotokatalisis

Fotokatalisis merupakan gabungan antara proses fotoreaksi dan katalis, yang berarti proses fotoreaksi yang dipercepat dengan penambahan katalis. Reaksi yang melibatkan foton (cahaya) sebagai pemicunya disebut sebagai fotoreaksi. Sedangkan substansi pemercepat reaksi namun tidak ikut bereaksi disebut sebagai katalis, oleh sebab itu jumlah katalis pada awal dan akhir reaksi akan sama. Katalis yang berperan dalam proses fotokatalisis disebut sebagai fotokatalis (Afrozi, 2010). Bahan yang memungkinkan untuk dijadikan sebagai fotokatalis adalah bahan yang memiliki energi ambang atau daerah energi kosong. Melalui pengertian ini, maka semikonduktor merupakan bahan yang cocok dijadikan sebagai fotokatalis karena memiliki energi ambang (Gunlazuardi, 2001). Gambar 2.2 merupakan ilustrasi untuk menggambarkan energi ambang atau energi celah pita dari semikonduktor.



Gambar 2.2 Energi celah pita pada semikonduktor (Sumber: Licciulli, 2002)

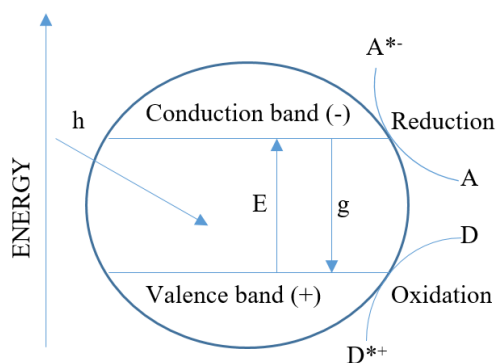
Ketika semikonduktor dikenai cahaya ( $h\nu$ ) dengan energi yang besarnya sesuai, elektron ( $e^-$ ) dari pita valensi akan berpindah menuju pita konduksi, serta menyisakan lubang positif yang disebut *hole* ( $h^+$ ) pada pita valensi. Pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  dapat berkombinasi kembali (rekombinasi) dalam permukaan maupun partikel bulk, sementara sebagian pasangan  $e^-$  dan  $h^+$  yang lainnya dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor, sehingga  $h^+$  dapat menginisiasi reaksi oksidasi

dan  $e^-$  akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang berada di sekitar permukaan semikonduktor (Gunlazuardi, 2001).

Pasangan elektron-hole dapat berekombinasi dalam partikel, juga dalam permukaan maupun bulk partikel hanya dalam waktu nanosekon. Masing-masing pasangan elektron dapat bereaksi dengan spesies donor (D) dan akseptor (A) yang teradsorpsi di permukaan partikel. Reduksi substrat (A) dilakukan oleh elektron pada pita konduksi atau pelarut yang mencapai permukaan partikel. Oksidasi substrat (D) dapat berlangsung secara langsung maupun tidak langsung oleh hole pada pita valensi. Kemungkinan adanya reaksi pada ion radikal yang terbentuk ( $A^-$  dan  $D^+$ ) dituliskan sebagai berikut:

- $A^-$  dan  $D^+$  bereaksi antar sesama ion atau dengan adsorbat.
- $A^-$  dan  $D^+$  berekombinasi lewat transfer elektron balik agar dapat terbentuk keadaan eksitasi dari salah satu reaktan.
- $A^-$  dan  $D^+$  berdifusi dari permukaan semikonduktor serta berpartisipasi dalam reaksi kimia dalam medium larutan.

Laju rekombinasi elektron dengan hole harus dihalangi agar proses fotokatalis berlangsung dengan efisien. Penggambaran ilustrasi yang terjadi pada proses ini dijabarkan pada Gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Skema proses fotoeksitasi pada suatu bahan semikonduktor (Sumber: Liciulli, 2002)

Proses fotokatalitik dibagi menjadi dua berdasarkan jenis katalis yang digunakan, yaitu homogen dan heterogen. Fotokatalitik homogen berlangsung dalam satu fasa yang biasanya dibantu zat pengoksidasi berupa hidrogen peroksida atau ozon, sedangkan fotokatalitik heterogen memanfaatkan bahan semikonduktor

dalam bantuan serbuk atau partikel yang digunakan dalam material suspensi. Salah satu contoh fotokatalitik heterogen adalah penggunaan bahan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  (Liciulli, 2002).

## **2.5 Oksida Logam $\text{TiO}_2$**

Titanium dioksida merupakan bentuk oksidasi dari titanium yang memiliki rumus kimia  $\text{TiO}_2$ . Senyawa  $\text{TiO}_2$  sendiri memiliki bentuk fisis berwarna putih dan tidak tembus cahaya.  $\text{TiO}_2$  banyak digunakan sebagai bakterisida, pasta gigi, elektroda dalam sel surya, maupun sebagai fotokatalis. Sintesis  $\text{TiO}_2$  dapat melalui reaksi kimia dengan proses sulfat ataupun klorin, sebagai contoh adalah sintesis  $\text{TiO}_2$  melalui reaksi senyawa titanium tetraklorida ( $\text{TiCl}_4$ ) dengan  $\text{O}_2$  yang melalui lorong silika dengan suhu tertentu. Senyawa  $\text{TiO}_2$  memiliki sifat asam dan basa tergantung pada lingkungan tempat senyawa berada, misalnya pada lingkungan asam senyawa akan berperan sebagai basa dan pada lingkungan basa senyawa akan berperan sebagai asam, sehingga disebut sebagai senyawa amfoter (Effendy, 2010).

Penggunaan  $\text{TiO}_2$  telah banyak diaplikasikan dalam proses fotokatalisis sebagai bahan untuk mendegradasi polutan lingkungan yang berada di udara maupun di air, selain itu  $\text{TiO}_2$  juga kerap dimanfaatkan pada proses remediasi serta sanitasi. Metode sintesis  $\text{TiO}_2$  akan berpengaruh pada aktivitas fotokatalik  $\text{TiO}_2$  karena berhubungan dengan celah pita, kristalinitas, serta ukuran partikelnya (Sivalingam, 2003).

### **2.5.1 Struktur Kristal $\text{TiO}_2$**

$\text{TiO}_2$  termasuk dalam bahan semikonduktor dengan fotoaktivitas serta stabilitas kimianya yang tinggi dan mampu bertahan terhadap fotokorosi dalam semua kondisi larutan, kecuali larutan yang mengandung keasaman tinggi ataupun flouride. Kelebihan  $\text{TiO}_2$  adalah mampu mengoksidasi polutan organik maupun mereduksi ion logam dalam larutan.  $\text{TiO}_2$  memiliki tiga struktur kristal yaitu rutil, anatase, dan brookite. Penjabaran mengenai tiga perbedaan struktur kristal  $\text{TiO}_2$  sebagai berikut:

- a. Rutil

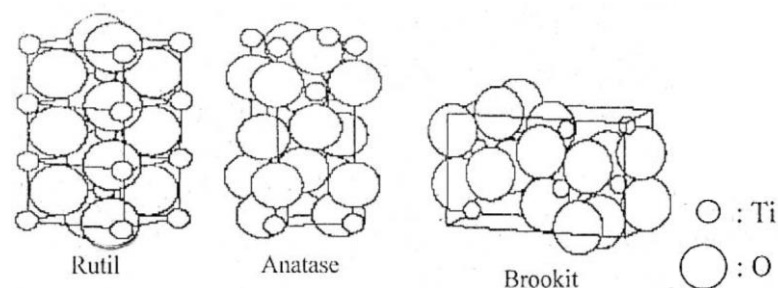
Struktur tetragonal yang dimiliki titanium (IV) oksida sebanyak 6 atom per unit sel dengan bentuk oktahedron  $\text{TiO}_2$  yang sedikit menyimpang (Chen *and* Mao, 2007). Tiga bentuk rutil yang dimiliki yaitu  $\text{TiO}_2$  (II) yang strukturnya seperti  $\alpha\text{-PbO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  (H) yang strukturnya hollandite, serta  $\text{TiO}_2$  (B) yang strukturnya monoklinik. Struktur anatase dan brokit akan berubah menjadi bentuk rutil ketika partikelnya mencapai ukuran tertentu dengan bentuk rutil yang lebih stabil dibandingkan dengan anatase untuk partikel lebih besar dari 14 nm. Kelemahan bentuk rutil ada pada kondisi preparasinya yang menjadikan aktivitas fotokatalisnya buruk, bisa aktif atau tidak aktif (Sclafani *et al.*, 1990).

#### b. Anatase

Pemanasan sempurna sol  $\text{TiO}_2$  dalam suhu antara  $120^\circ\text{C}$  hingga  $500^\circ\text{C}$  akan membuat struktur  $\text{TiO}_2$  berbentuk anatase. Titanium (IV) oksida anatase memiliki bentuk struktur tetragonal yang terdistorsi menjadi lebih besar dibandingkan bentuk oktahedron  $\text{TiO}_2$  (Linsebigler *et al.*, 1995). Kestabilan bentuk anatase dibandingkan dengan rutil pada suhu  $0^\circ\text{K}$  dinilai lebih tinggi, namun besarnya perbedaan energi pada dua bentuk tersebut relatif kecil. Penggunaan untuk aplikasi sel tenaga surya lebih menyukai bentuk anatase dibandingkan dengan bentuk polimorf lain karena memiliki mobilitas elektron yang tinggi, serta konstanta dielektrik dan berat jenisnya lebih rendah (Carp, *et al.*, 2004).

#### c. Brookite

Brookite memiliki struktur kristal ortorombik dengan panjang ikatan antara titanium dan oksigen berbeda-beda. Brookite memiliki band gap sekitar 3,14 eV berdasarkan persamaan Huckel yang berada diantara anatase dan rutil. Sintesis brookite yang relatif sukar akibat kemurniannya tinggi dengan permukaan yang luas menjadikan brookite jarang digunakan sebagai fotokatalis (Paola *et al.*, 2008). Perbandingan struktur kristal pada  $\text{TiO}_2$  digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.4 Struktur polimorf kristal TiO<sub>2</sub> (Sumber: Hazama, 2004)

Tiga penjabaran mengenai tipe kristal TiO<sub>2</sub> memberikan informasi bahwa untuk penggunaan sebagai fotokatalis banyak digunakan TiO<sub>2</sub> rutil dan anatase, dan anatase merupakan jenis struktur kristal yang paling banyak digunakan karena daerah aktivasinya lebih luas dibandingkan dengan rutil, sehingga dinilai kereaktifan kristalnya terhadap cahaya lebih tinggi dibandingkan dengan rutil. Sebaliknya, struktur kristal jenis rutil lebih banyak digunakan sebagai pigmen karena memiliki sifat penghamburan sinar yang efektif. Adapun besarnya band gap yang dimiliki masing-masing struktur kristal antara anatase dan rutil berbeda, dengan rentang energi 3,2 eV pada anatase dan 3,1 eV pada rutil (Gunlazuardi, 2001). Berikut tabel 2.4 diberikan untuk menjabarkan perbandingan karakteristik dari ketiga bentuk kristal TiO<sub>2</sub>.

Tabel 2.4 Perbandingan sifat dari berbagai bentuk kristal TiO<sub>2</sub>

Sifat	Anatase	Rutil	Brookite
Bentuk Kristal	Tetragonal	Tetragonal	Orthorombik
Band gap, eV	3,25	Tidak tersedia	3,05
Banyaknya TiO <sub>2</sub> / unit sel	4	2	8
Volume/TiO <sub>2</sub> , nm <sup>3</sup>	0,03407	0,03122	0,03211
Massa jenis teoritis (kg/m <sup>3</sup> )	3895	4250	4133

(Sumber: Othmer, 1997)

### 2.5.2 TiO<sub>2</sub> sebagai Katalis

Penggunaan TiO<sub>2</sub> sebagai katalis dikarenakan kelebihan yang dimiliki TiO<sub>2</sub> itu sendiri, diantaranya bersifat non toksik, dengan stabilitas kimia dan stabilitas termal cukup tinggi, sehingga aktivitas fotokatalitiknya juga relatif tinggi, dan tentunya harganya yang relatif murah dibandingkan dengan katalis lainnya. Aktivitas fotokatalitik yang dimiliki TiO<sub>2</sub> tidak berubah atau berkurang, sehingga mampu digunakan berulang kali dengan metode aktivasi (Choi, *et. al.* 2010). Celah

pita energi yang lebar dari TiO<sub>2</sub> struktur anatase sebesar 3,2 eV membatasi daerah serapan TiO<sub>2</sub> berada pada daerah UV, namun tidak pada cahaya tampak (Qourzal, *et. al.* 2006). Penambahan doping pada kristal TiO<sub>2</sub> mampu menjadikan katalis baru dengan lebar celah pita energi yang lebih kecil. Salah satu doping yang dapat digunakan dalam TiO<sub>2</sub> dapat berupa logam maupun non logam, sebagai contoh vanadium (V<sup>3+</sup>), nikel (Ni<sup>2+</sup>), maupun platinum (Pt<sup>4+</sup> dan Pt<sup>2+</sup>) (Choi, *et. al.* 2010). Meskipun demikian, teknologi untuk doping ini tidaklah sederhana dan membutuhkan peralatan relatif mahal.

## **2.6 Material Hibrida**

Sifat semikonduktor yang mudah berubah ketika ada gangguan energi serta komposisi menjadikan banyak teknologi material yang diterapkan untuk meningkatkan tingkat efektifitas material tersebut. Modifikasi material banyak digunakan, termasuk dengan cara mensintesis material hibrida agar luas permukaan terhadap volumenya menjadi lebih besar. Penggabungan dua material atau lebih membentuk komponen tunggal yang karakteristik serta sifat mekaniknya berbeda dari material pembentuknya. Sintesis material ini dilakukan agar dapat diperoleh material baru yang sifatnya disesuaikan sesuai dengan kebutuhan sintesis material (Krevelen, 1994).

### **2.6.1 Sintesis Material Hibrida dengan Metode Sol-Gel**

Metode sol-gel pada dasarnya merupakan penggabungan dari dua reaksi hidrolisis dan kondensasi dari logam alkoksida. Sol sendiri adalah sistem yang mengizinkan bahan kimia padatan tersuspensi stabil dalam larutan, sedangkan gel ialah cairan yang ada dalam sebuah partikel padat itu sendiri. Pengontrolan proses sol-gel dilakukan agar suatu komposisi memiliki kemurnian dan homogenitas yang tinggi, sehingga suatu material katalis yang diperoleh dapat konsisten (Brinker *and* Scherer, 1990). Kelebihan metode sol-gel yaitu memungkinkan adanya doping ganda sehingga komposisinya dapat diatur ketika proses preparasi dilakukan, ditambah lagi adanya interaksi antara doping dan penyangga sehingga dapat dilakukan penekanan terhadap kemungkinan hilangnya doping selama proses sintering. Selain itu, besar atau ketebalan katalis dapat dikontrol apabila disintesis

dengan metode sol-gel. Transisi sistem dari fasa larutan menuju fasa gel padatan melalui beberapa tahap yaitu pembentukan larutan, pembentukan gel, penuaan, pengeringan dan pemadatan. Material keramik dalam berbagai jenis dan bentuk bisa didapatkan melalui proses sintesis dengan metode sol-gel (Frenzer and Maier, 2006).

Tahapan yang harus dilewati ketika melakukan sintesis dengan metode sol-gel dibagi menjadi empat diantaranya tahapan hidrolisis, tahapan kondensasi, tahapan pematangan serta tahap terakhir yaitu pengeringan (Wijaya, 2010). Tahap hidrolisis merupakan tahap dimana sol koloid dihasilkan melalui pelarutan logam prekursor (alkoksida) dengan alkohol yang kemudian terhidrolisis dengan penambahan air pada kondisi asam basa atau netral. Banyaknya rasio air yang terkandung dalam prekursor serta jenis katalis akan mempengaruhi proses yang terjadi selama tahapan hidrolisis berlangsung (Ayu, 2015).

Kelebihan penggunaan metode sol-gel selama melakukan sintesis diantaranya adalah memiliki stabilitas termal baik, stabilitas mekanik tinggi, daya tahan pelarut baik, serta dapat dilakukan modifikasi dengan berbagai kemungkinan. Perubahan parameter sintesis pada metode sol-gel umumnya dilakukan agar mampu dilihat vertilitas, kemurnian, homogenitas, serta modifikasi sifat material yang dihasilkan (Zawrah *et al.*, 2009).

## **2.6.2 Karakterisasi Material Hibrida**

### *a. Scanning Electron Microscopy (SEM)*

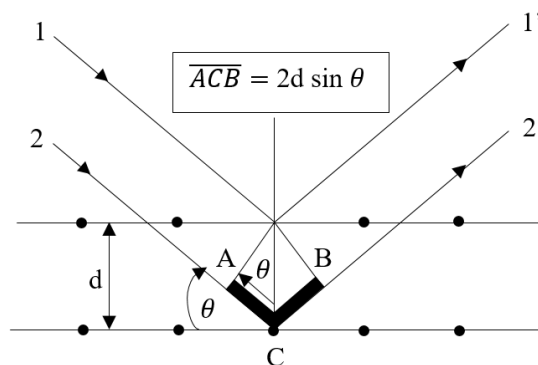
Kemampuan SEM yang dapat mengetahui struktur mikro dari suatu material menjadikan karakterisasi jenis ini kerap digunakan terutama bila sampelnya bersifat konduktif. Kelebihan penggunaan metode SEM salah satunya pada pemeriksaan permukaan tidak rata yang memiliki patahan atau kedalaman yang tidak mampu diamati menggunakan mikroskop optik. Pemeriksaan permukaan menggunakan metode SEM ini diperoleh melalui penangkapan elektron sekunder yang dipancarkan oleh spesimen. Objek berukuran nanometer dapat diamati menggunakan metode ini karena resolusi SEM dapat mencapai 150.000 kali dalam pemindaian dalam arah horizontal. Untuk kelemahannya sendiri, metode SEM ini

hanya mampu melakukan pemindaian secara vertikal dengan resolusi rendah. Cara kerja SEM sendiri menghasilkan sinar X dan elektron melalui interaksi primer elektron dengan spesimen ketika terjadi tumbukan antara elektron yang dihasilkan dari adanya beda potensial yang nantinya ditangkap oleh tiga detektor yaitu SE (*Secondary electrons*), BSE (*Backscattered electrons*), dan X-Ray (Wagiyo dan Handayani, 1997).

#### b. X-ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan salah satu jenis alat yang digunakan untuk mencari ciri utama kristal dengan beberapa parameter seperti parameter kisi dan tipe strukturnya. Disamping itu, metode XRD juga dimanfaatkan ketika ingin mengetahui jenis atom yang terkandung dalam kristal, adanya cacat pada kristal serta orientasi kristalnya. Tingkat kristalinitas dapat diidentifikasi melalui intensitas pada difraksi, serta fase padatan dapat diidentifikasi dengan cara membandingkan langsung dengan referensi yang ada (Smallman, 2000).

Prinsip kerja XRD adalah menyinari material yang ingin diidentifikasi dengan menggunakan sinar-X. Intensitas sinar hasil transmisi relatif lebih rendah dari sinar datang, hal ini terjadi akibat adanya penyerapan oleh material serta penghamburan oleh atom-atom yang terkandung dalam material tersebut. Adanya proses saling menghilangkan karena perbedaan fase antara sinar-X yang dihamburkan dan saling menguatkan karena fase yang sama, menyebabkan adanya peristiwa difraksi dan interferensi konstruktif (Grant dan Suryanayana, 1998). Interferensi konstruktif ini merupakan peristiwa difraksi yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pola difraksi Hukum Brag (Sumber: Suryadi, 2011)

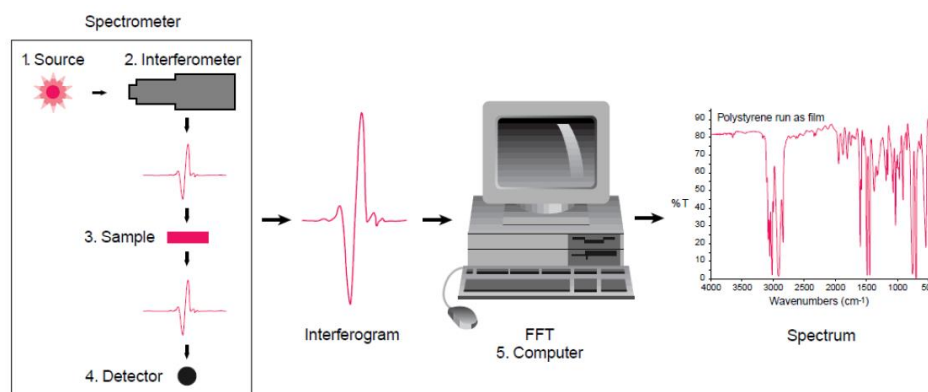
Brag menyatakan bahwa ketika berkas sinar-X yang datang pada sudut sempit, maka atom C akan menyebabkan adanya hamburan. Ketika jarak  $AC+CB = n \lambda$ , dimana  $n$  merupakan orde difraksi. Perhitungan trigonometri menjelaskan bahwasanya panjang  $AC = d \sin \theta$ , dengan jarak  $d$  yang merupakan jarak antar bidang. Sehingga persamaan Hukum Brag adalah:

$$2 d \sin \theta = n \lambda; n = 1,2,\dots \quad (2.9)$$

Hukum Brag menyatakan bahwa dengan mengetahui panjang gelombang, maka unsur kimia, jarak kisi kristal  $d$  dan struktur kristalnya dapat diketahui dengan cara mengukur besarnya sudut  $\theta$ . Untuk alat XRD biasanya panjang gelombang sinar X yang digunakan sudah diketahui, maka besarnya nilai  $d$  atau  $2\theta$  yang diperoleh akan dijadikan identitas senyawa tertentu (Suryadi, 2011).

### c. *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

FTIR merupakan salah satu jenis alat karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari senyawa penyusun material yang dikarakterisasi melalui proses pendeteksian banyaknya energi yang terserap tiap gugus fungsinya. Proses analisa sampel pada spektroskopi FTIR diawali dengan sinar infra merah yang dipancarkan dari sumber benda hitam yang lalu melaju serta masuk ke dalam interferometer yang menjadikannya sebagai penyaring panjang gelombang berdasarkan besarnya interferensi sehingga tidak semua gelombangnya diloloskan. Sinar yang akhirnya memasuki ruang sampel kemudian ditransmisikan keluar atau dipantulkan kembali bergantung pada tipe analisisnya (Anisah, 2017). Berikut skema FTIR yang dapat diilustrasikan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Skema dari FTIR (Sumber: Thermo Nicolet, 2001)

Analisa akhir dilakukan ketika sinar berhasil masuk ke detektor yang hasil keluarannya berupa interferogram yang dikirimkan ke komputer. Komputer akan berfungsi sebagai pengubah data mentah menjadi spektrum (serapan cahaya untuk tiap panjang gelombang), ketika memiliki algoritma pembalik yang disebut “Fourier Transform”. Pita serapan yang muncul pada bilangan gelombang dibandingkan dengan data pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Anisah, 2017).

#### d. Spektrofotometer *UV-Vis*

Spektrofotometer merupakan suatu metode analisis yang prinsip kerjanya berdasar pada ukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu larutan berwarna pada panjang gelombang yang spesifik menggunakan monokromator prisma atau kisi difraksi dan detector *vacuum phototube* atau tabung foton. Spektrofotometer menghasilkan sinar melalui spektrum dengan panjang gelombang tertentu, sedangkan fotometer merupakan alat pengukur intensitas cahaya yang terseleksi dapat diperoleh melalui pengurai cahaya seperti prisma. Sebuah spektrofotometer memiliki susunan spektrum tampak yang kontinyu, monokromator serta suatu alat untuk mengukur perbedaan absorbansi antara sampel dengan blanko atau pembandingnya (Cresswell, 2005).

Menurut (Ryu dkk., 2008; Tryba dkk., 2007). Senyawa yang diukur menggunakan spektrofotometer *UV-Vis* harus memenuhi hukum Lambert-Beer

mengenai penurunan konsentrasi yang berbanding lurus dengan penurunan absorbansinya dengan persamaan sebagai berikut:

$$R\% = \frac{A_{max}}{A_{omax}} \times 100. \quad (2.1)$$

Dimana:

$R\%$  = Prosentase zat yang belum tereduksi

$A_{omax}$  = Absorbansi maksimum larutan mula-mula

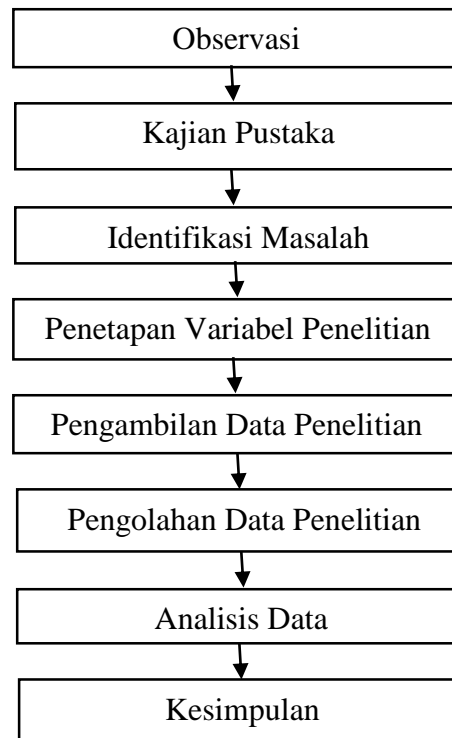
$A_{max}$  = Absorbansi maksimum larutan selama degradasi.

### BAB 3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian memberikan informasi mengenai garis besar bagaimana penelitian akan dilakukan, mencakup tahap rancangan kegiatan penelitian, jenis dan sumber data, variabel dan skala pengukurannya serta kerangka pemecahan masalah yang nantinya akan dijadikan dasar proses penelitian dilakukan. Metode penelitian yang dilakukan akan dijelaskan secara lebih rinci melalui masing-masing subbab yang tersedia.

#### 3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian

Skema rancangan penelitian secara garis besar dapat dijabarkan melalui Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema penelitian secara umum

Kegiatan penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan memanfaatkan  $\text{TiO}_2$  dan zeolit sebagai bahan baku sintesis material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit. Proses pengambilan data penelitian dilakukan dengan empat tahap, yaitu: 1) Tahap aktivasi zeolit alam, 2) Tahap sintesis material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit, 3) Tahap uji coba material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit, dan 4) Tahap karakterisasi material hibrida  $\text{TiO}_2$ -

zeolit. Pelaksanaan kegiatan penelitian dimulai pada bulan Juni 2019 sampai dengan November 2019 di Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Adapun kegiatan karakterisasi yang tidak tersedia di FMIPA, dilakukan di luar FMIPA yaitu di Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Data karakterisasi yang didapatkan dianalisis melalui proses membandingkan dengan beberapa sumber yang terlebih dahulu didapatkan dalam kajian pustaka. Melalui hasil analisa yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan dari masalah penelitian.

Proses penelitian diawali dengan observasi melalui berbagai sumber terhadap topik kegiatan yang akan diteliti. Langkah berikutnya adalah identifikasi masalah penelitian dengan menentukan variabel-variabel dari permasalahan yang akan diteliti. Dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mortar, ayakan 150, dan 250 mesh, neraca analitik Ohaus, pH meter, pemanas, erlenmeyer dan labu ukur, SEM (*Scanning Electron Microscopy*), XRD (*X-Ray Diffraction*), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), dan spektrofotometer UV-Visible. Material yang digunakan yaitu zeolit alam, *distilled water*, larutan HCl 6 M, Isopropil Alkohol, TTIP, CH<sub>3</sub>COOH, dan larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 25 ppm.

Pertama dilakukan proses aktivasi zeolit alam mulai dari proses penyeragaman ukuran sampai pada pendinginannya. Proses selanjutnya adalah sintesis material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit yang dilanjutkan dengan karakterisasi. Pada proses ini kita mendapatkan data hasil SEM-EDS, data pola XRD, dan data hasil spektrofotometri FTIR. Proses uji coba material dilakukan pada larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 25 ppm. Penelitian yang dilakukan adalah membandingkan banyaknya kandungan sebelum dan sesudah diberi perlakuan menggunakan material. Data yang diambil dalam penelitian ini nantinya adalah grafik penurunan absorbansi larutan larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 25 ppm setelah diaplikasikan material dengan variasi yang berbeda sehingga dapat diketahui material manakah yang mampu menurunkan kadar larutan paling banyak.

### **3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif yang diperoleh langsung dari eksperimen. Jenis data penelitian yang digunakan berupa

data perubahan kandungan Cr VI sebelum dan sesudah perlakuan terhadap material yang diaplikasikan pada larutan  $K_2Cr_2O_7$  25 ppm. Adapun data pendukung lainnya berupa data hasil karakterisasi material.

### **3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran**

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ditetapkan agar dapat diperoleh informasi yang diinginkan peneliti, meliputi variabel bebas (*independent variable*), variabel terikat (*dependent variable*), dan variabel kontrol (*control variable*). Penetapan variabel dilakukan sebelum penelitian dilakukan agar parameter data yang diambil diketahui dan dapat dijadikan acuan selama proses penelitian berlangsung.

#### **3.3.1 Variabel**

##### **1. Variabel Kontrol**

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah temperatur larutan selama disinari lampu UV.

##### **2. Variabel bebas**

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu irradiasi UV dan variasi massa zeolit dalam material hibrida  $TiO_2$ -zeolit.

##### **3. Variabel Terikat**

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah reduksi Cr VI.

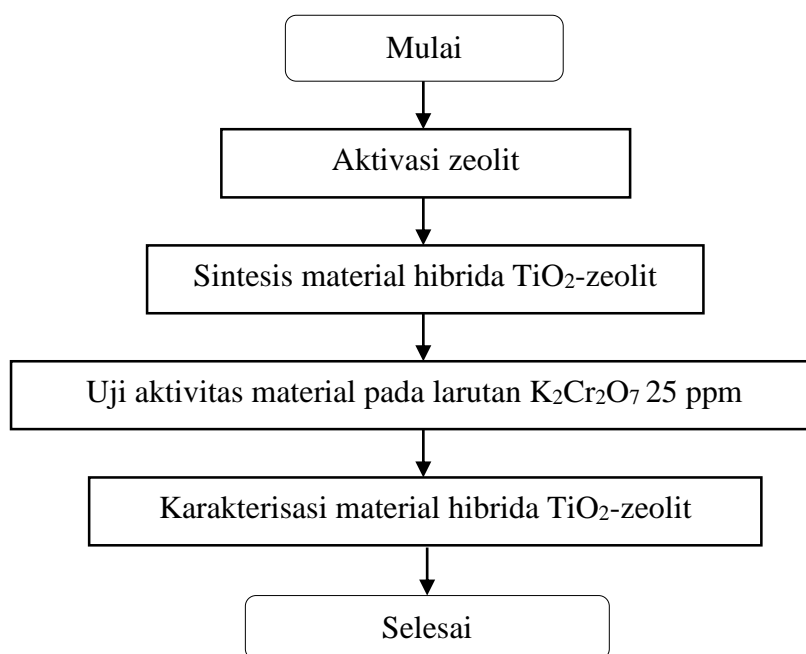
#### **3.3.2 Skala Pengukuran**

Skala pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu skala pengukuran rasio. Skala pengukuran ini nantinya digunakan untuk membandingkan data penurunan Cr VI yang didapatkan. Larutan  $K_2Cr_2O_7$  25 ppm digunakan sebagai larutan yang akan diturunkan kandungannya dengan perlakuan sebagai berikut:

- a. Hanya disinari UV
- b. Larutan  $K_2Cr_2O_7$  diberi  $TiO_2$  dan disinari UV
- c. Larutan  $K_2Cr_2O_7$  diberi zeolit dan disinari UV
- d. Larutan  $K_2Cr_2O_7$  diberi material hibrida  $TiO_2$ -zeolit dan disinari UV

### 3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

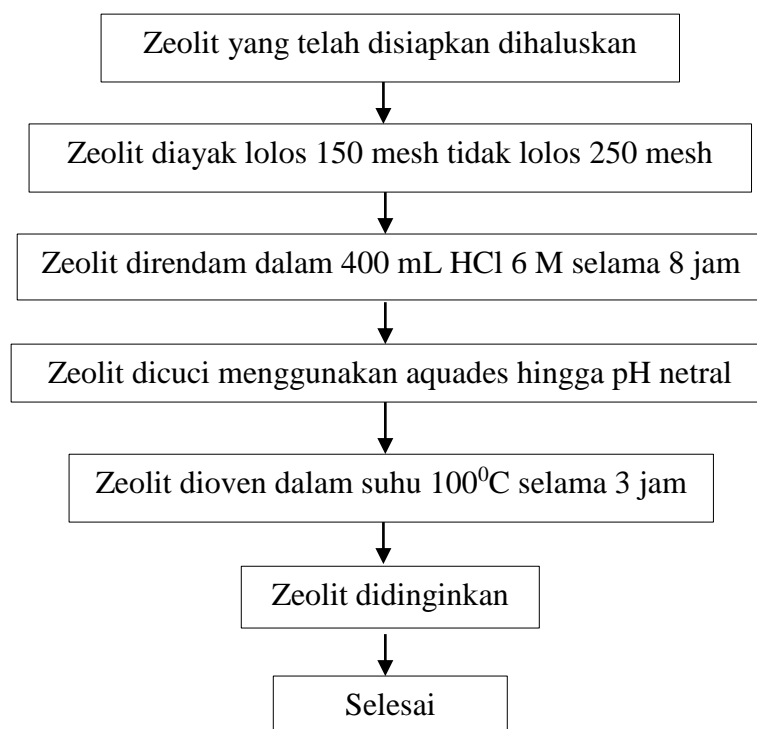
Kerangka pemecahan masalah dalam penelitian ini dijabarkan dalam beberapa tahapan kegiatan penelitian. Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan digambarkan pada diagram alir penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema Kerangka Pemecahan Masalah

#### 3.4.1 Tahap Aktivasi Zeolit Alam

Tahap aktivasi zeolit alam dilakukan bertujuan untuk memperluas pori-pori zeolit alam yang mana dimulai dengan proses penyeragaman ukuran zeolit. Proses ini dilakukan dengan penggerusan zeolit alam sehingga ukuran akan semakin kecil lalu dilakukan pengayakan zeolit alam dengan dengan ayakan berukuran 150 dan 250 mesh, zeolit yang dipilih untuk aktivasi adalah zeolit yang lolos ayakan 150 mesh dan tidak lolos ayakan 250 mesh. Proses penyeragaman ukuran zeolit ini dilakukan agar ukuran zeolit yang diaktivasi tidak jauh berbeda satu sama lainnya (Wardhani dkk, 2016). Zeolit alam yang digunakan dalam penelitian berasal dari Kabupaten Malang bagian selatan, tepatnya di Kecamatan Sumbermanjing Wetan. Gambaran proses aktivasi zeolit yang dilakukan seperti gambar 3.3 berikut.

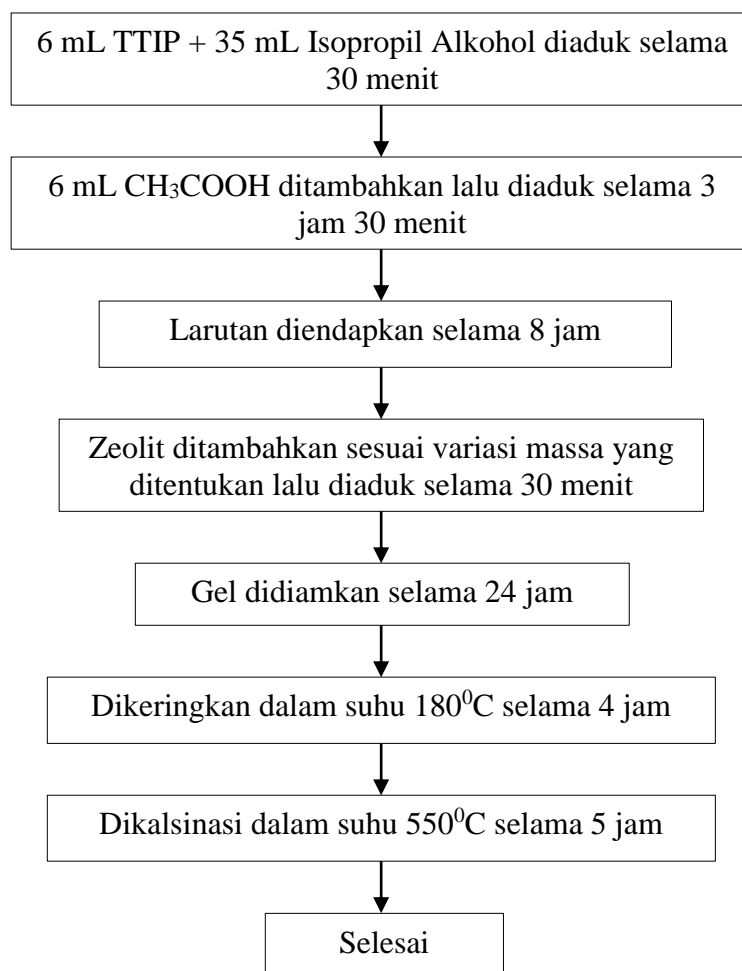


Gambar 3.3 Proses aktivasi zeolit alam

Setelah ukuran zeolit sudah seragam, dilakukan perendaman 250 gram zeolit selama 4 jam menggunakan larutan HCl 6 M sebanyak 400 mL tanpa proses pengadukan selama 8 jam yang nantinya akan membuat larutan HCl yang tadinya jernih tanpa warna berubah menjadi hijau kekuningan. Perubahan warna larutan ini dilakukan sebagai upaya melarutkan logam pengotor yang masih menempel pada permukaan zeolit (Sagita, 2018). Proses selanjutnya merupakan proses pencucian zeolit menggunakan *distilled water* hingga pH netral. Pencucian ini dilakukan sebanyak 18 sampai 24 kali sebelum pH larutan benar-benar netral. Setelahnya dilakukan proses pengeringan zeolit selama 3 jam dalam suhu 100°C hingga zeolit benar-benar kering. Proses penggerusan kembali dilakukan apabila setelah proses pengeringan zeolit saling menempel satu sama lainnya. Serbuk zeolit yang telah diaktivasi akan dikemas dalam wadah kedap udara ketika telah mencapai suhu ruangan.

### 3.4.2 Tahap Sintesis Material Hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit

Sintesis material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit dilakukan menggunakan metode solgel mengikuti langkah (Sagita, 2018) dengan sedikit modifikasi yang digambarkan dalam proses berikut ini.



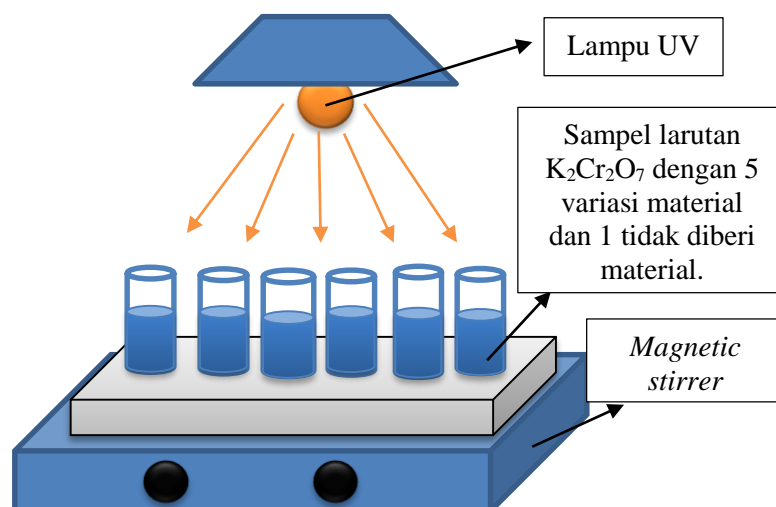
Gambar 3.4 Proses sintesis material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit

Sintesis dilakukan menggunakan prekursor Titanium (IV) isopropoksida (TIP). Mula-mula TTIP sebanyak 6 mL ditambahkan kedalam 35 mL isopropil alkohol yang lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400 rpm selama 30 menit. Larutan kemudian diberi tambahan 6 mL CH<sub>3</sub>COOH (Asam asetat glasial) lalu kembali diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400 rpm selama 3 jam 30 menit hingga larutan menjadi berwarna putih keruh, setelah ini larutan diendapkan. Proses pengendapan hingga membentuk gel dilakukan

dengan cara mendiamkan larutan selama 8 jam dengan cara ditutup dalam ruangan kedap udara (Sagita, 2018). Gel yang terbentuk setelah didiamkan kemudian diberikan zeolit dengan tiga variasi massa yaitu 1,5 gram, 3 gram dan 4,5 gram sehingga dihasilkan tiga variasi perbandingan  $\text{TiO}_2$ -zeolit yang masing-masing akan disebut material  $\text{TiO}_2$ -zeolit/1,5,  $\text{TiO}_2$ -zeolit/3, dan  $\text{TiO}_2$ -zeolit/4,5. Penyebutan tersebut disesuaikan dengan massa zeolit ketika sintesis material dilakukan. Proses pemberian zeolit dilakukan diatas *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400 rpm selama 30 menit hingga zeolit dan gel bercampur menjadi satu. Campuran material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit ini lalu didiamkan kembali selama 24 jam untuk proses pematangan sebelum dikeringkan didalam oven dengan suhu  $180^\circ\text{C}$  selama 4 jam untuk menghilangkan pelarut yang masih tersisa. Tahapan akhir yang dilakukan setelah proses pengeringan yaitu kalsinasi material dalam suhu  $550^\circ\text{C}$  selama 5 jam. Material yang terbentuk setelah proses kalsinasi siap di uji coba aktivitasnya untuk mereduksi Cr VI.

### **3.4.3 Tahap Uji Coba Material Hibrida $\text{TiO}_2$ -zeolit**

Penelitian dilakukan dengan cara pengaplikasian lima jenis material pada larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  yaitu  $\text{TiO}_2$ , zeolit, dan tiga macam variasi material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit serta satu lainnya tidak diberi material apapun. Lima perlakuan menggunakan 1 gram material yang dilarutkan dalam 200 mL larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  25 ppm, serta satu lainnya hanya menggunakan 200 mL larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  25 ppm tanpa material sebagai kontrol uji coba. Keenam perlakuan ini dilakukan didalam ruangan gelap yang nantinya akan diberikan sinar dari 2 lampu UV 10 W selama sepuluh jam serta diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 100 rpm. Berikut ilustrasi tahapan uji coba dalam box ruangan gelap pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Peralatan uji coba material TiO<sub>2</sub>-zeolit pada larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Senyawa K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sebanyak 0,1 gram dilarutkan dalam 4000 mL *distilled water* sehingga menghasilkan larutan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> dengan konsentrasi 25 ppm, dan larutan inilah yang akan diuji absorbansinya melalui uji UV-Vis. Pengambilan data uji coba sebanyak 7 mL dilakukan tiap interval waktu satu jam sehingga perubahan banyaknya kandungan Cr pada limbah cair dapat teramati. Masing-masing sampel akan memiliki sepuluh data, mulai dari t<sub>(1)</sub>, t<sub>(2)</sub>, t<sub>(3)</sub>, t<sub>(4)</sub>, t<sub>(5)</sub>, t<sub>(6)</sub>, t<sub>(7)</sub>, t<sub>(8)</sub>, dan t<sub>(10)</sub>. Hasil dari uji coba diendapkan selama 24 jam lalu diambil larutannya saja untuk dikarakterisasi kandungan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang tersisa dalam larutan setelah perlakuan. Material dengan aktivitas reduksi paling banyak nantinya akan dikarakterisasi agar diketahui karakteristik materialnya.

#### 3.4.4 Tahap Karakterisasi Material Hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit

Karakterisasi suatu material dilakukan agar didapatkan informasi mengenai komposisi, struktur, serta kelainan dari suatu material tanpa merusak sampel aslinya, oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi pada suatu material yang akan diujicobakan agar karakter dari materialnya sendiri diketahui. Karakterisasi secara fisika material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit ditentukan menggunakan beberapa karakterisasi antara lain karakterisasi SEM-EDS yang nantinya akan diketahui morfologi permukaan material hibrida yang telah dibuat dan komposisi unsur yang terbentuk, karakterisasi XRD untuk menentukan kristalinitas material sehingga jenis kristal

diketahui, serta karakterisasi FTIR agar diketahui gugus fungsi dari kristal dan ikatan molekular antara  $\text{TiO}_2$  dan zeolit. Selain ketiga karakterisasi tersebut, karakterisasi UV-Vis juga dilakukan setelah uji coba material sebagai informasi jumlah reduksi larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  melalui data spektrum absorbansinya.

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

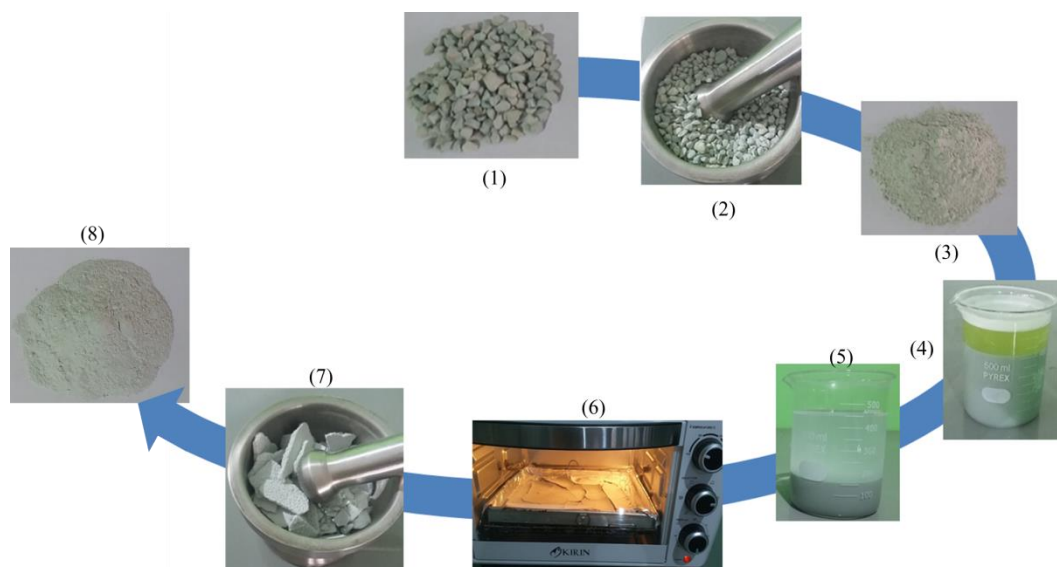
Pada Bab 4 ini dibahas tentang hasil penelitian yang meliputi sintesis material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit, uji coba aktivitas reduksi material untuk mereduksi kandungan larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , serta karakterisasi material. Adapun data karakterisasi material meliputi morfologi, komposisi unsur, gugus fungsi molekuler dan kristalinitas. Lima material yang diaplikasikan pada larutan yaitu  $\text{TiO}_2$ , zeolit, serta tiga variasi material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit yang disinari lampu UV dalam rentang waktu tertentu.

### 4.1 Sintesis Material Hibrida $\text{TiO}_2$ -Zeolit

Proses sintesis material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit merupakan proses yang mempengaruhi keberhasilan penelitian, sebab aktivitas reduksi Cr VI akan dipengaruhi oleh material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit yang diaplikasikan selama uji coba. Proses sintesis material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit dimulai dengan aktivasi zeolit alam, dimana tahapan pertamanya yaitu menyeragamkan ukuran zeolit dengan cara penggerusan lalu pengayakan. Proses ini menghasilkan zeolit dengan ukuran seragam, adapun ukuran yang digunakan yaitu ayakan 150 mesh dengan ayakan 250 mesh.

Serbuk zeolit yang diperoleh kemudian diaktivasi dengan cara merendamnya dalam larutan HCl 6M selama 8 jam. Larutan HCl dibuat dari larutan HCl pekat yang diencerkan sesuai dengan molaritas yang ingin didapatkan. Percobaan aktivasi zeolit menggunakan larutan HCl 6 M atas dasar percobaan yang telah dilakukan sebelumnya oleh Sagita (2018). Pada awal proses perendaman, HCl yang tadinya jernih akan berubah warna menjadi kehijauan yang mengindikasikan adanya proses penghilangan kotoran pada permukaan zeolit akibat perendaman dengan larutan asam yang konsentrasinya tinggi. Proses perendaman zeolit dengan larutan asam ini diharapkan mampu mengoptimalkan kemampuan adsorpsi dari zeolit. Zeolit yang sudah diaktivasi kemudian dicuci menggunakan air suling sampai pH netral. Zeolit yang telah selesai proses pencuciannya kemudian dikeringkan dengan oven pada temperature  $100^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam hingga zeolit benar-benar kering. Setelah selesai di oven, zeolit akan berbentuk lempengan dan proses penggerusan kembali

dilakukan sehingga dihasilkan serbuk zeolit yang siap disintesis. Tahapan lengkap dari proses penyiapan zeolit alam dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1. pada gambar tersebut sangat jelas terlihat bahwa warna zeolit setelah aktivasi menjadi lebih cerah dibandingkan dengan sebelum aktivasi.



Keterangan:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Zeolit alam granular                              | 5. Pencucian                               |
| 2. Penggerusan zeolit                                | 6. Pengeringan                             |
| 3. Serbuk zeolit lolos 150 mesh tidak lolos 250 mesh | 7. Penggerusan ulang                       |
| 4. Aktivasi zeolit dengan HCl 6M                     | 8. Serbuk zeolit teraktivasi siap sintesis |

Gambar 4.1 Proses penyiapan zeolit alam

Tahapan selanjutnya adalah proses sintesis material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit. Tahapan ini dimulai dengan sintesis  $\text{TiO}_2$  menggunakan prekursor TTIP sebanyak 6 mL yang dicampur dengan 35 mL Isopropil Alkohol yang dicampur diatas *magnetic stirrer* dengan kecepatan 400 rpm selama 30 menit. Sebagai katalis reaksi, diberikan 6 mL  $\text{CH}_3\text{COOH}$  lalu kembali diaduk selama 3 jam 30 menit dengan kecepatan 400 rpm hingga dihasilkan larutan keruh berwarna putih yang kemudian didiamkan selama 8 jam. Adapun setelah proses pengendapan selesai, kemudian ke dalam larutan ditambahkan zeolit yang sudah diaktivasi tadi dengan 3 variasi massa yaitu 1,5 gram, 3 gram dan 4,5 gram yang hasilnya dinamai material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit/1,5,  $\text{TiO}_2$ -zeolit/3, dan  $\text{TiO}_2$ -zeolit/4,5 sesuai dengan massa zeolit yang dicampurkan selama proses sintesis dilakukan. Proses pencampuran zeolit dengan

larutan dilakukan di atas *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan 400 rpm hingga gel terbentuk. Gel ini kemudian didiamkan selama 24 jam untuk proses pematangan (*aging*). Setelah semua proses selesai dilakukan, tahap akhir yaitu pengeringan zeolit dalam oven dengan temperatur 180<sup>0</sup>C selama 4 jam untuk menghilangkan pelarut yang masih tersisa, lalu dilanjutkan proses kalsinasi material selama 5 jam pada temperatur 550<sup>0</sup>C untuk proses pengkristalan. Material yang sudah melewati tahapan sintesis siap dikarakterisasi. Proses perubahan dari material asal menjadi material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit dapat dilihat pada Gambar 4.2.

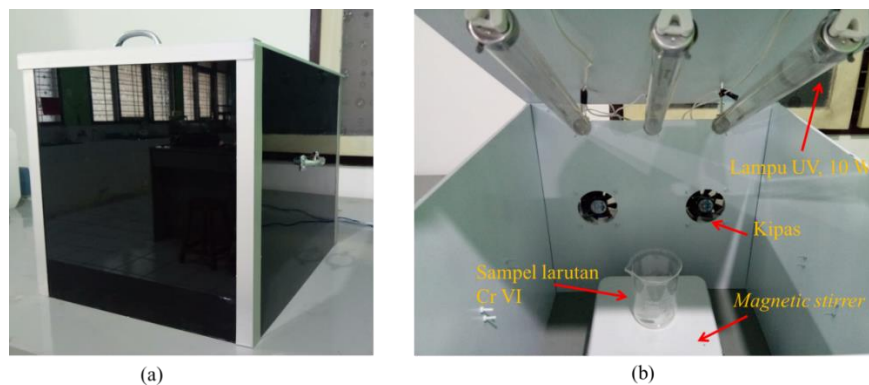


Gambar 4.2 Proses sintesis material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit.

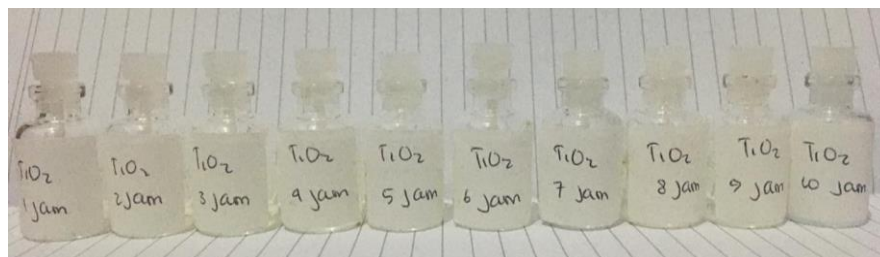
#### 4.2 Uji Coba Aktivitas Material

Uji coba aktivitas material dilakukan untuk fotodegradasi Cr VI. Larutan Cr VI 25 ppm dibuat dengan cara melarutkan 0,1 g senyawa K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> dalam 4 L air suling. Pembuatan larutan Cr VI menggunakan senyawa K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> yang dilarutkan menggunakan air suling telah banyak dilakukan sebelumnya, salah satunya

dilakukan oleh Andini (2017). Diperlukan sebanyak 200 mL larutan  $K_2Cr_2O_7$  untuk sekali percobaan irradiasi dalam *UV chamber*. *UV chamber* dilengkapi dengan 2 buah lampu UV dengan daya masing-masing sebesar 10 W serta dua buah kipas angin yang berfungsi sebagai *supply* oksigen dan juga untuk menjaga temperatur dalam *chamber* agar tetap konstan. Gas oksigen diperlukan untuk berlangsungnya reaksi reduksi dalam proses fotokatalisis. Material hibrida sebanyak 1 gram di aplikasikan pada percobaan, lalu disinari UV dan larutan disampling tiap rentang waktu 1 jam selama 10 jam, sehingga diperoleh 10 sampel larutan pada tiap material yang diaplikasikan. Hasil sampling larutan kemudian dikarakterisasi untuk mengukur absorbansinya menggunakan spektrometer UV-Vis. Data absorbansi inilah yang akan digunakan untuk menganalisis reduksi Cr VI dalam larutan. *UV chamber* dimana eksperimen aktivitas material pada fotodegradasi Cr VI dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *UV chamber* , (a) tampak luar, (b) tampak dalam.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

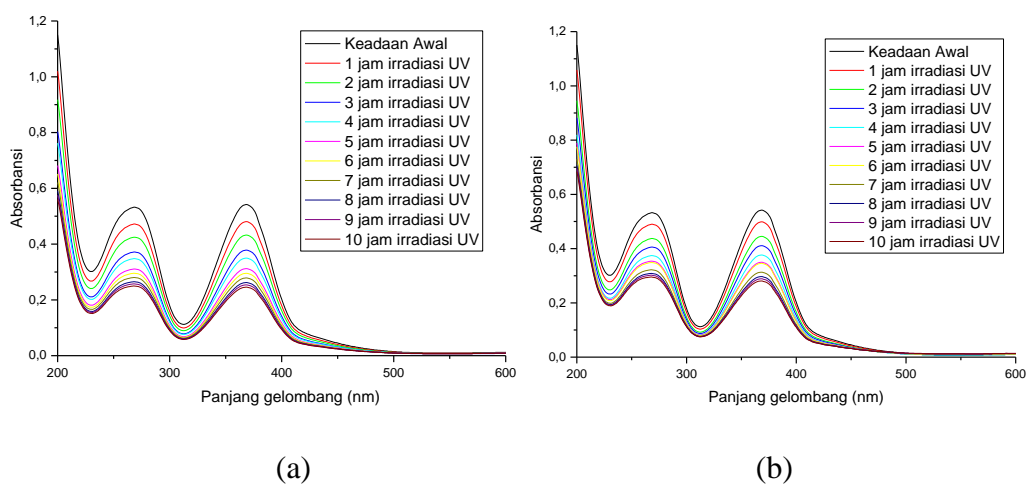


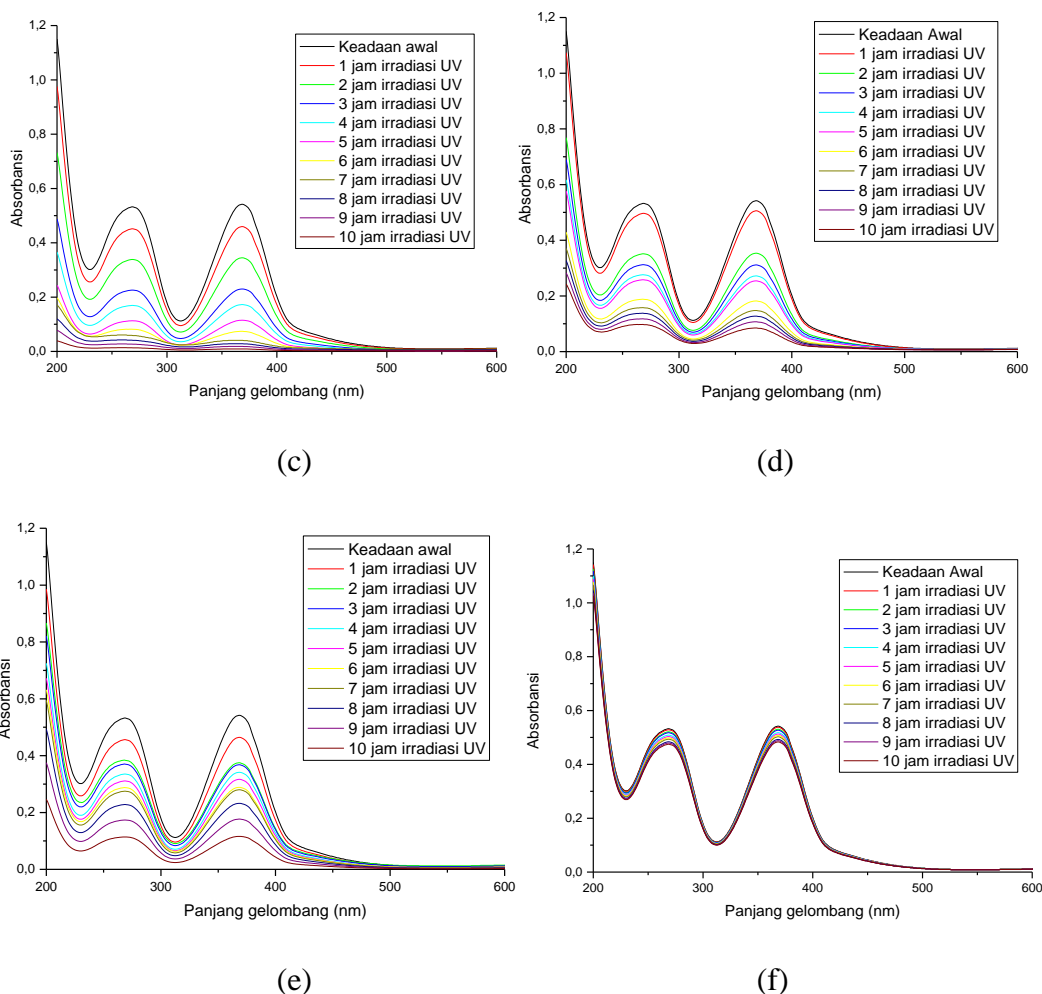
(f)

Gambar 4.10 Sampel larutan  $K_2Cr_2O_7$  irradiasi selama 10 jam. (a) menggunakan  $TiO_2$ , (b) menggunakan zeolit, (c) menggunakan material hibrida  $TiO_2$ -zeolit A, (d) menggunakan material hibrida  $TiO_2$ -zeolit B, (e) menggunakan material hibrida  $TiO_2$ -zeolit C, (f) tanpa diberi material.

Proses uji coba aktivitas material dilakukan diatas *magnetic stirrer* dengan kecepatan 100 rpm dalam *UV chamber*. Gambar 4.10 adalah sampel larutan yang disampling tiap rentang waktu satu jam. Proses sampling dilakukan menggunakan jarum suntik lalu diendapkan selama 24 jam agar larutan dan endapan material yang diaplikasikan terpisah, setelah itu baru dilakukan pengukuran absorbansi larutan.

Proses karakterisasi UV-Vis digunakan untuk melihat aktivitas material dalam mereduksi larutan Cr VI yang dapat dilihat melalui spektrum absorbansinya. Selain itu, perbedaan masing-masing aktivitas material juga ditinjau melalui grafik antara waktu terhadap absorbansi yang dilakukan dalam jangka waktu 10 jam. Melalui karakterisasi ini, dapat diketahui material mana yang mampu mereduksi larutan Cr VI paling banyak dalam kurun waktu yang sama. Aktivitas material selama mereduksi larutan Cr dapat dilihat dalam Gambar 4.11. Terlihat bahwa ada dua nilai absorbansi maksimum untuk larutan, yang terjadi pada panjang gelombang 269 nm dan 369 nm. Kedua puncak ini bersesuaian dengan serapan untuk unsur Cr VI (Abida, *et al.*, 2010).



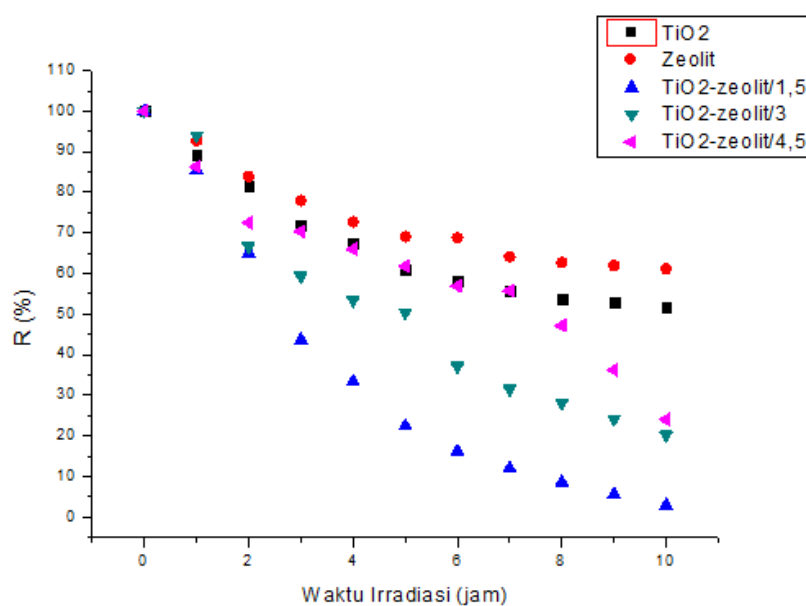


Gambar 4.11 Spektrum absorbansi UV-Vis larutan  $K_2Cr_2O_7$ . (a) menggunakan  $TiO_2$ , (b) menggunakan zeolit, (c) menggunakan material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/1,5, (d) menggunakan material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/3, (e) menggunakan material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/4,5, (f) tanpa diberi material.

Semua grafik pada Gambar 4.11 menunjukkan adanya penurunan absorbansi larutan, namun larutan yang paling cepat turun nilai absorbansinya adalah larutan yang diberi sampel material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/1,5, yang memiliki kandungan zeolit sebanyak 1,5 gram. Berdasarkan persamaan Lambert, nilai absorbansi suatu larutan berbanding lurus dengan konsentrasi larutan. Oleh karena itu maka berdasarkan data absorbansi maksimum kita dapat menganalisis reduksi unsur Cr VI dalam larutan.

Pada gambar 4.11(f) terlihat bahwa Cr VI dapat juga tereduksi secara fotolisis karena terpapar UV, meskipun jumlahnya sangat kecil jika dibandingkan dengan reduksi Cr VI karena aplikasi material. Oleh karena itu, data reduksi Cr VI

merupakan hasil dari dua mekanisme yaitu fotolisis oleh UV dan fotokatalisis oleh material yang dipapar UV. Berdasarkan hal tersebut maka analisis mengenai reduksi Cr VI telah dibuat mengacu dengan besarnya absorbansi larutan  $K_2Cr_2O_7$  karena proses fotolisis. Gambar 4.12 menunjukkan grafik reduksi Cr VI yang diperoleh dengan cara membagi nilai absorbansi maksimum larutan dengan perlakuan material dengan nilai absorbansi maksimum larutan tanpa perlakuan material.



Gambar 4.12 Grafik reduksi Cr VI sebagai fungsi waktu irradiasi UV

Gambar 4.12 merupakan gambar yang menunjukkan reduksi unsur Cr VI dalam larutan. Terlihat bahwa urutan kemampuan masing-masing material dalam mereduksi Cr VI dari paling tinggi ke paling rendah adalah material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/1,5, material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/3, material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/4,5,  $TiO_2$  saja, dan yang terakhir zeolit saja. R merupakan prosentase zat yang belum tereduksi selama masa irradiasi. Nilai R dapat dicari melalui persamaan Lambert  $R\% = \frac{A_{max}}{A_{0max}} \times 100$  sehingga dapat dilihat banyaknya zat yang masih belum tereduksi setelah waktu irradiasi berlangsung. Selama 10 jam waktu irradiasi dilakukan dapat dilihat bahwa material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/1,5 menyisakan R sebesar 2,84%, sementara material hibrida  $TiO_2$ -zeolit/3,  $TiO_2$ -zeolit/4,5,  $TiO_2$  saja, zeolit saja menyisakan R berturut-turut sebanyak 20,21%, 24,02%, 51,61%,

61,14%. Melalui sisa material yang belum tereduksi, dapat dilihat juga prosentase Cr VI yang mampu tereduksi dalam waktu 10 jam oleh masing-masing material. Reduksi paling banyak dilakukan oleh material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5 dengan prosentase reduksi sebesar 97,15%, sementara material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/3, TiO<sub>2</sub>-zeolit/4,5, TiO<sub>2</sub> saja, zeolit saja mampu mereduksi dengan prosentase berturut-turut sebanyak 79,78%, 75,97%, 48,25%, 38,85%.

Dalam material hibrida, kemampuan adsorpsi zeolit dipadukan dengan kemampuan fotokatalitik TiO<sub>2</sub>. Zeolit akan berperan sebagai penyedia molekul yang akan didegradasi oleh TiO<sub>2</sub>. Jumlah zeolit yang terlalu banyak akan menyebabkan jumlah molekul Cr yang teradsorpsi dipermukaan zeolit dengan yang terdegradasi oleh TiO<sub>2</sub> lajunya tidak seimbang. Jumlah Cr akan mengalami penumpukan di permukaan zeolit sebelum terdegradasi. Penumpukan Cr ini akan menutupi situs-situs aktif di permukaan zeolit, sehingga menurunkan aktivitas adsorpsi dari zeolit, dan secara keseluruhan akan menurunkan aktivitas dari material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit. Hal ini sekaligus menjelaskan mengapa kemampuan material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5 dan material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/3 dalam mendegradasi Cr VI semakin menurun dengan bertambahnya kandungan zeolit. Hal sebaliknya juga bisa terjadi bahwa kandungan zeolit yang terlalu sedikit juga akan menyebabkan suplai molekul ke TiO<sub>2</sub> akan sedikit sehingga aktivitas material secara keseluruhan akan menurun. Sayangnya kami tidak memiliki data tentang fenomena ini karena terbatasnya komposisi zeolit yang dibuat saat sintesis material.

Secara individual, material TiO<sub>2</sub> dan zeolit juga mampu mereduksi larutan Cr VI meskipun aktivitasnya tidak sebaik material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit. Hal ini dikarenakan TiO<sub>2</sub> efektif dalam proses reduksi logam berat namun memiliki kekurangan bahwa kemampuan adsorpsinya rendah. Sementara prinsip kerja fotokatalisis adalah senyawa yang ingin didegradasi harus teradsorpsi terlebih dahulu dipermukaan TiO<sub>2</sub> atau disekitar permukaan TiO<sub>2</sub>. Secara individual zeolit dengan mekanisme adsorpsinya juga mampu mereduksi kandungan Cr VI dalam larutan. Meskipun demikian penumpukan senyawa Cr VI di permukaan zeolit akan menurunkan aktivitas adsorpsinya. Hal ini dapat dilihat pada sampel material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/3 maupun material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/4,5 yang memiliki lebih

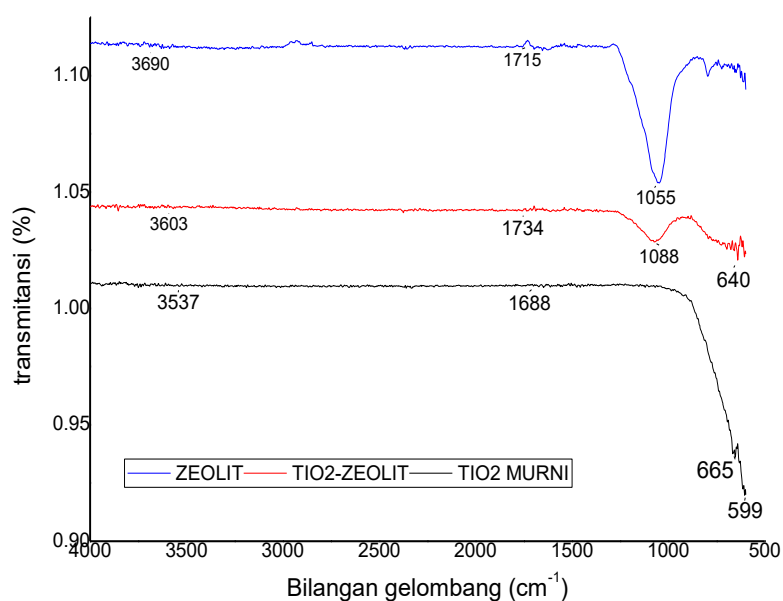
banyak kandungan zeolit tempat menempelnya Cr VI memiliki aktivitas reduksi lebih rendah dibandingkan dengan material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5.

### 4.3 Karakterisasi Material

Karakterisasi material hibrida yang telah dibuat dilakukan menggunakan *FTIR* guna mendapatkan analisa ikatan molekuler antara pembentuk material hibrida, *XRD* guna mendapatkan informasi kristalinitas material, serta *SEM-EDX* yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur serta morfologi permukaan material hibrida. Karakterisasi material ini diperlukan untuk mendukung analisis hasil pada gambar 4.12. Karakterisasi material hanya dilakukan pada material TiO<sub>2</sub> murni, zeolit murni, dan sampel komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5. Sampel komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5 merupakan sampel dengan kemampuan reduksi Cr VI paling besar, oleh karena itu karakteristik material yang memiliki kemampuan reduksi paling besar inilah yang di

#### 4.2.1. Karakterisasi FTIR

Analisis karakteristik material meliputi gugus fungsi TiO<sub>2</sub> dan zeolit yang disintesis menggunakan metode sol-gel melalui spektrum yang terbentuk pada daerah bilangan gelombang tertentu. Jenis gugus fungsional serta ikatan kimia yang terbentuk dalam sampel ditunjukkan oleh masing-masing puncak serapan.



#### Gambar 4.3 Spektrum serapan FTIR untuk material yang disintesis

Karakterisasi FTIR digunakan untuk membandingkan gugus fungsi pada zeolit,  $\text{TiO}_2$ , dan material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit. Hasil spektrum FTIR mengenai gugus fungsi yang terkandung pada masing-masing material dapat di lihat pada gambar 4.3. Analisis FTIR pada zeolit menunjukkan adanya tiga pita serapan utama dengan satu *peak* dengan intensitas kuat pada bilangan gelombang  $1055\text{ cm}^{-1}$  serta dua *peak* dengan intensitas sedang pada  $1715$ , dan  $3690\text{ cm}^{-1}$ . Gugus fungsi yang terdapat pada zeolit ikatan C-C pada bilangan gelombang  $1055\text{ cm}^{-1}$ , ikatan C=O pada bilangan gelombang  $1715\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur (*stretching vibration*) dari gugus karbonil serta ikatan O-H pada bilangan gelombang  $3690\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur (*stretching vibration*).

Untuk  $\text{TiO}_2$  murni, spektrum FTIR menunjukkan adanya tiga pita serapan utama dengan satu *peak* dengan intensitas kuat pada bilangan gelombang  $665\text{ cm}^{-1}$  serta dua *peak* dengan intensitas sedang pada  $1688$  dan  $3537\text{ cm}^{-1}$ . Gugus fungsi yang terdapat pada  $\text{TiO}_2$  adalah vibrasi ulur Ti-O-Ti pada bilangan gelombang  $665\text{ cm}^{-1}$ , dimana vibrasi ini dapat muncul pada serapan  $1479\text{-}550\text{ cm}^{-1}$  (Venckatesh, 2012). Adanya ikatan C=O pada bilangan gelombang  $1688\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur (*stretching vibration*) dari gugus karbonil serta ikatan O-H pada bilangan gelombang  $3537\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur (*stretching vibration*).

Hasil terakhir analisis FTIR pada  $\text{TiO}_2$ -zeolit menunjukkan adanya empat pita serapan utama dengan dua *peak* dengan intensitas kuat pada bilangan gelombang  $640$  dan  $1088\text{ cm}^{-1}$  serta dua *peak* dengan intensitas sedang pada  $1734$  dan  $3603\text{ cm}^{-1}$ . Gugus fungsi yang terdapat pada material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit adalah vibrasi ulur Ti-O-Ti pada bilangan gelombang  $640\text{ cm}^{-1}$ , dimana vibrasi ini dapat muncul pada serapan  $1479\text{-}550\text{ cm}^{-1}$  (Venckatesh, 2012). Gugus fungsi yang terdapat pada zeolit ikatan C-C pada bilangan gelombang  $1088\text{ cm}^{-1}$ , ikatan C=O pada bilangan gelombang  $1734\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur (*stretching vibration*) dari gugus karbonil serta ikatan O-H pada bilangan gelombang  $3609\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur (*stretching vibration*).

Perbandingan hasil analisis FTIR pada ketiga material dapat dilihat dalam tabel 4.1. Kesamaan puncak serapan pada ketiga material yaitu ikatan C=O dan

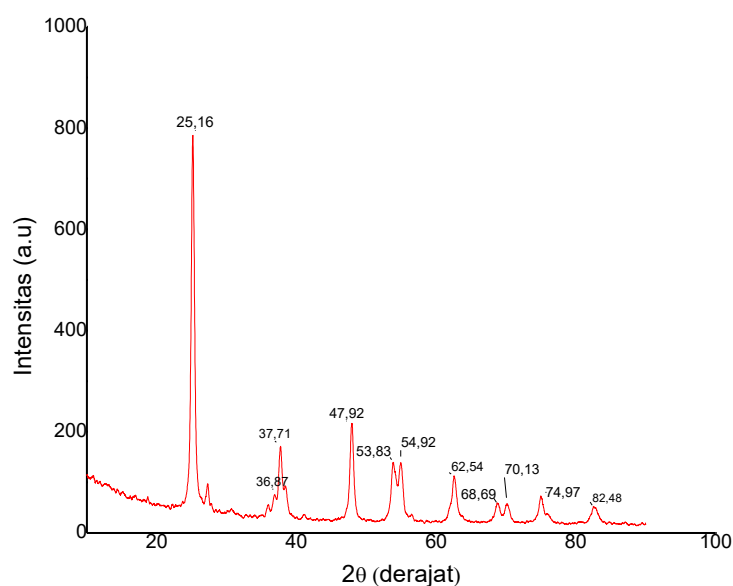
ikatan O=H. Selain itu, vibrasi ulur Ti-O-Ti hanya ada pada spektra IR TiO<sub>2</sub> dan material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit yang menunjukkan adanya TiO<sub>2</sub> pada material hibrida juga mengalami vibrasi ulur ikatan Ti-O-Ti seperti pada material TiO<sub>2</sub> saja.

Tabel 4.1 Hasil Analisis FTIR

No	Pita serapan FTIR (cm <sup>-1</sup> )			Gugus Ikatan
	Zeolit	TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub> -zeolit	
1	-	665	640	Ti-O-Ti
2	1055	-	1088	C-C
3	1715	1688	1734	C=O
4	3690	3537	3603	O-H

#### 4.2.2. Karakterisasi XRD

Karakterisasi material menggunakan XRD digunakan untuk menganalisa fase kristal TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan metode solgel. Sudut hamburan serta puncak masing-masing sudutnya akan memberi informasi mengenai fase kristal material. Hasil karakterisasi XRD material TiO<sub>2</sub> menggunakan sintesis solgel dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.4 Spektrum XRD dari TiO<sub>2</sub> hasil sintesis solgel

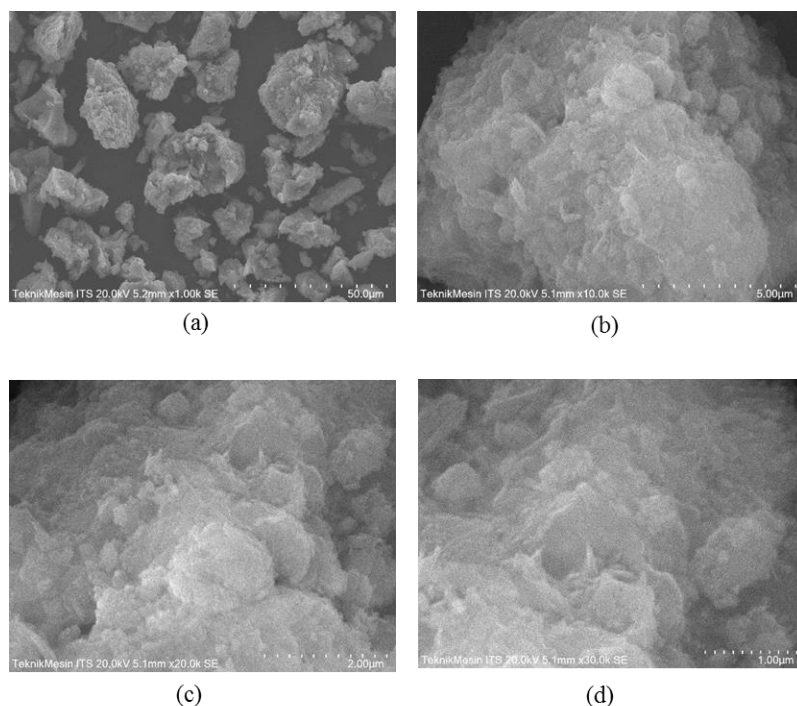
Tabel 4.2 Perbandingan pola XRD TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dengan TiO<sub>2</sub> Referensi

<b>TiO<sub>2</sub> Hasil Sintesis</b>	<b>TiO<sub>2</sub> Anatase Referensi (JCPDS No. 21-1272)</b>
Sudut 2θ dengan hamburan maksimum (°)	Sudut 2θ dengan hamburan maksimum (°)
25,18	25,281
36,87	36,947
37,71	37,801
38,445	38,576
47,92	48,05
53,83	53,891
54,92	55,062

Karakterisasi *XRD* dilakukan agar struktur serta kristal dari TiO<sub>2</sub> yang telah dibuat dengan metode sol-gel dapat diidentifikasi. Data hasil karakterisasi *XRD* dapat dilihat pada Gambar 4.4 yang menunjukkan grafik antara 2θ dengan intensitas sinar X yang terhambur. Adapun sumber yang dapat dijadikan perbandingan adalah data JCPDS No. 21-1272 mengenai pola standar TiO<sub>2</sub>. Data pada Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan antara puncak TiO<sub>2</sub> anatase sintesis sol-gel dengan TiO<sub>2</sub> anatase referensi. Tidak terdapat perbedaan nilai puncak yang signifikan pada kedua nilai TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan melalui eksperimen dengan data. Hal ini menunjukkan bahwa material TiO<sub>2</sub> yang disintesis menggunakan sol-gel adalah TiO<sub>2</sub> dengan struktur kristal anatase.

#### 4.2.3. Karakterisasi *SEM-EDX*

Karakterisasi *SEM-EDX* dilakukan untuk mengamati morfologi zeolit serta material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit yang telah disintesis serta komposisi unsur yang terkandung di dalamnya. Hasil karakterisasi *SEM* dari sampel serbuk zeolit ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan unsur penyusunnya dapat dilihat pada analisa *EDX* Gambar 4.6. Sedangkan hasil karakterisasi material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit dan spektrum *EDX* nya ditunjukkan secara berturut-turut pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

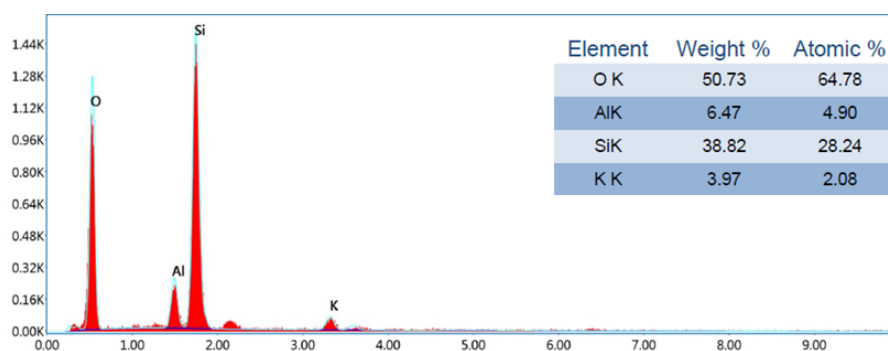


Gambar 4.5 Morfologi permukaan zeolit menggunakan SEM. (a) perbesaran 1000x, (b) perbesaran 10.000x, (c) perbesaran 20.000x, (d) perbesaran 30.000x.

Terdapat dua sampel yang di uji menggunakan *SEM-EDX* yaitu zeolit dan material hibrida A. Terdapat perbedaan hasil yang signifikan antara dua material yang diuji menggunakan *SEM-EDX*. Berdasarkan Gambar 4.5 diketahui morfologi permukaan zeolit dengan perbesaran 1.000x, 10.000x, 20.000x dan 30.000x secara berturut-turut. Terlihat permukaan yang secara mikro terlihat tidak rata serta bentuk yang tidak beraturan. Adanya permukaan yang tidak rata ini memberikan dampak pada luas permukaan yang lebih besar dibandingkan kalau permukaannya rata dan teratur. Luas permukaan ini menjadi salah satu faktor penting untuk material sorben. Semakin besar luas permukaan semakin tinggi aktivitas adsorpsinya.

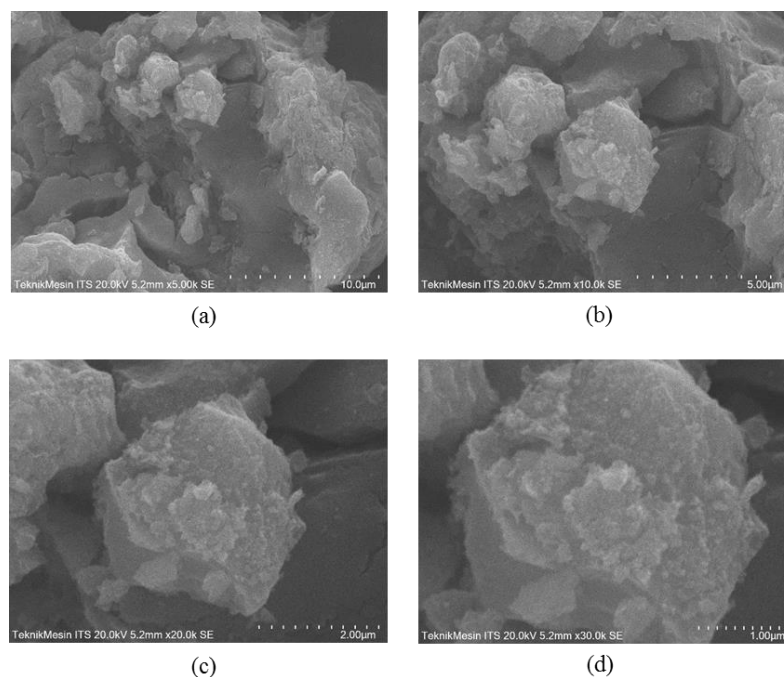
Gambar 4.6 merupakan hasil karakterisasi *EDX* dan keterangan komposisi unsur yang terkandung dalam sampel zeolit yang diaktivasi menggunakan larutan asam HCl 6 M. Gambar tersebut menunjukkan bahwa unsur penyusun zeolit dari presentase tertinggi ke terendah yaitu Oksigen (50,73%), Silikon (38,82%), Aluminium (6,47%), dan Kalsium (3,97%). Unsur-unsur yang terdeteksi pada *EDX* tersebut merupakan unsur utama penyusun zeolit. Banyaknya kandungan Si dan Al mempengaruhi aktivitas zeolit yang mampu mengabsorpsi sesuai dengan fungsi

zeolit sebagai adsorben. Adapun perbandingan antara Al dan Si yang mencapai 1:5 menunjukkan bahwa zeolit yang digunakan merupakan zeolit tipe zeolit alam mordenit (Ramo, 1984). Jika dibandingkan dengan data FTIR untuk zeolit, kita tidak mendapati keberadaan Si dan Al dalam gugus fungsi material zeolit. Hal ini sangat mungkin diakibatkan karena keterbatasan rentang spektrum bilangan gelombang dari alat spektrometer FTIR yang digunakan.

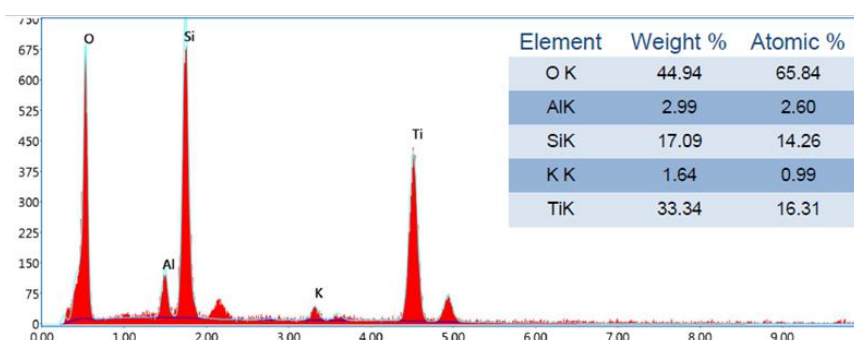


Gambar 4.6 Spektrum EDX dan komposisi unsur pada zeolit.

Analisis material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit dilakukan untuk mengetahui perbedaan morfologi permukaan serta perbedaan komposisi unsurnya dengan hasil *SEM-EDX* zeolit. Gambar 4.7 menunjukkan morfologi permukaan material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit (material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit/1,5), dengan perbesaran 5.000x, 10.000x, 20.000x, 30.000x secara berurutan. Pada gambar tersebut agak sulit untuk mendapati adanya partikel  $\text{TiO}_2$  di permukaan zeolit. Hal ini mungkin disebabkan karena warna dari zeolit dan  $\text{TiO}_2$  yang hampir sama, atau karena spot pada saat *SEM* yang kebetulan tidak didapati  $\text{TiO}_2$  di sana. Meskipun demikian, keberadaan  $\text{TiO}_2$  dalam material hibrida A dikonfirmasi oleh hasil karakterisasi EDX.



Gambar 4.7 Morfologi permukaan  $\text{TiO}_2$ -zeolit menggunakan SEM. (a) perbesaran 5000x, (b) perbesaran 10.000x, (c) perbesaran 20.000x, (d) perbesaran 30.000x.



Gambar 4.8 Spektrum EDX dan komposisi unsur pada material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit

Gambar 4.8 merupakan hasil karakterisasi *EDX* dan keterangan komposisi unsur yang terkandung dalam sampel material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit hasil sintesis. Gambar menunjukkan bahwa unsur penyusun material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit dari presentase tertinggi ke terendah yaitu Oksigen (44,94%), Titanium (33,34%), Silikon (17,09%), Aluminium (2,99%), dan Kalsium (1,64%). Unsur-unsur yang terdeteksi pada *EDX* tersebut merupakan unsur utama penyusun material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit. Data *EDX* material hibrida  $\text{TiO}_2$ -zeolit menunjukkan adanya Titanium yang sebelumnya tidak ada pada *EDX* zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa proses

sintesis material hibrida berhasil dilakukan karena material pembentuk TiO<sub>2</sub>-zeolit terdeteksi dalam *EDX* material hibrida.

Pemilihan material hibrida yang diuji karakteristiknya melalui SEM dilakukan atas dasar uji aktivitas material yang telah dilakukan menggunakan karakterisasi UV-Vis. Dalam subbab sebelumnya telah dijelaskan bahwa material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5 memiliki aktivitas fotokatalitik paling tinggi diantara semua material yang diaplikasikan untuk mereduksi Cr VI, oleh sebab itu material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5 ini yang dicari karakteristiknya menggunakan karakterisasi SEM.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Mengacu pada rumusan masalah yang diajukan, penelitian tentang reduksi Cr VI menggunakan komposit TiO<sub>2</sub>-zeolit menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Aktivitas masing-masing material yang diaplikasikan memiliki kemampuan reduksi Cr VI yang berbeda-beda. Kemampuan reduksi Cr VI pada material hibrida mulai dari yang paling tinggi. Dalam waktu 10 jam material ini hanya menyisakan 2,84% ion Cr VI yang belum tereduksi ( 97,15% tereduksi). Adapun urutan kemampuan urutan material dalam mereduksi Cr VI mulai dari yang tertinggi menuju terendah adalah Material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5, material Hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/3, material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/4,5, TiO<sub>2</sub> murni, dan zeolit murni.
2. a. Morfologi permukaan zeolit dan material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5 yang dikarakterisasi menggunakan SEM terlihat tidak rata dan bentuk yang tidak beraturan. Morfologi permukaan seperti ini memberikan kontribusi pada luas permukaan yang besar dari material zeolit. Hal ini dapat dilihat melalui hasil karakterisasi SEM pada gambar yang menunjukkan morfologi permukaan material yang diuji.  
b. Terdapat perbedaan prosentase pada hasil EDX antara zeolit dan material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit. Hal ini dibuktikan dengan munculnya unsur Titanium sebanyak (33,34%) yang tadinya tidak ada pada EDX zeolit. Adapun komposisi unsur yang terdapat pada analisis EDX yaitu Oksigen (44,94%), Titanium (33,34%), Silikon (17,09%), Aluminium (2,99%), dan Kalsium (1,64%).  
c. Gugus fungsi yang analisisnya dilakukan menggunakan hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya ikatan TiO<sub>2</sub> yang mana dibuktikan oleh munculnya spektrum serapan pada bilangan gelombang 665 cm<sup>-1</sup> pada hasil FTIR TiO<sub>2</sub> murni dan 640 cm<sup>-1</sup> pada hasil FTIR TiO<sub>2</sub>-zeolit/1,5 yang mana menunjukkan adanya ikatan Ti-O-Ti yang terbentuk.

- d. Fase kristal  $\text{TiO}_2$  yang disintesis menggunakan metode solgel merupakan  $\text{TiO}_2$  anatase. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan data XRD  $\text{TiO}_2$  hasil sintesis dengan  $\text{TiO}_2$  murni referensi.

## 5.2 Saran

Berdasarkan proses penelitian yang telah dilakukan, berikut saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Perlu adanya kajian lebih lanjut tentang sifat penggunaan berulang (*reuse*) dari material yang disintesis saat diaplikasikan.
2. Perlu adanya optimasi variasi lebih lanjut dari massa zeolit di sekitar 1,5 g saat sintesis material komposit  $\text{TiO}_2$ -zeolit. Hal ini perlu dilakukan untuk mendapatkan parameter sintesis optimum dari massa zeolit yang digunakan.
3. Perlu adanya kajian lebih lanjut tentang kinetika reaksi pada proses fotodegradasi Cr VI menggunakan komposit  $\text{TiO}_2$ -zeolit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H. 1992. *Kimia Unsur Dan Radioaktif*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Afrozi, A.S. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Katalis Non Komposit Berbasis Titania Untuk Produksi Hidrogen Dari Gliserol dan Air. *Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Anisah. 2017. Ekstraksi dan Karakterisasi Senyawa Hidroksiapatit dari Tulang Paha Sapi sebagai Bahan *Graft* Tulang. *Skripsi*. Jakarta : Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta.
- Ayu, Dwi I. 2015. Sintesis Nano TiO<sub>2</sub> Menggunakan Metode Sol-Gel dengan Penambahan PEG sebagai Antimikroba. *Skripsi*. UNNES: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Brinker C.J. and Scherer G.W. 1990. *Sol-gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. San Diego: Academic Press.
- Chen X, Mao SS. 2007. Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications and applications. *Chemical Reviews*. 107(7): 2891-2959.
- Choi, Jina, Hyunwoong Park and michael R. 2010. Effects of single Metal-Ion Doping on the Visible-Light Photoreactivity of TiO<sub>2</sub>. *Journal Physics and Chemical*. 114: 783-792.
- Effendy. 2010. *Logam, Aloi, Semikonduktor, dan Superkonduktor*. Malang: Bayumedia Publishing.
- Erdem, E. N. Karapinar, R. Donat. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science* 280.
- Frenzer, G. and Maier, W. F. 2006. Amorphous Porous Mixed Oxides : Sol-Gel Ways to a Highly Versatile Class of Materials and Catalysts. *Annual Review of Materials Research*. 36: 281-331.
- Grant, N. M. and Suryanayana, C. 1998. *X-Ray Diffraction: A Partical Approach*. New York: Plenum Press.
- Gunlazuardi, J. 2001. Fotokatalisis pada Permukaan TiO<sub>2</sub>: Aspek Fundamental dan Aplikasinya. *Seminar Nasional Kimia Fisika II*. Jakarta: Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Indonesia.
- Hasibuan, M. 2012. *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Hazama, C., Hachioji S. 2004. *Titanium Oxide Photocatalyst*. Tokyo: Three Bond Technical News.

- Intarapong, P., Iangthanarat, S., Phanthong, P., Luengnaruemitchai, A., and Jai-In, S. 2013. Activity and Basic Properties of KOH/Mordenite for Transesterification of Palm Oil. *Journal of Energy Chemistry*. 22: 690–700.
- Kahar, A. 2007. Pengaruh Laju Alir Dan Diameter Partikel Zeolit Pada Proses Penjerapan Fenol Terlarut Dalam Limbah Cair Industri Kayu Lapis. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 4: 1693-5616.
- Kaufman, J., Nesbitt, B., J., Goldman, L., M., Eliassen, R. 1951. *The Removal of Radioactive Anions by Water Treatment Technical Information Service, Oak Ridge*. Tennessee: Wiley.
- Krevelen, D. W. Van. 1994. *Properties of Polymers, Their Correlation with Chemical Structure, Their Numerical Estimated and Prediction from Additional Group Contributions*. Amsterdam: Elsevier Science B. V.
- Kristian H. Sugiyanto & Retno D.Suyanti. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Licciulli, A., and Lisi, D. 2002. *Self-Cleaning Glass*. Lecce: Universita Degli Studi.
- Linsebigier, A. L, et al. 1995. Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surface: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Journal*. 95: 735-758.
- Lisanti, E. Suhardini, M.P. Simparmin, B.G. 2013. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Cr<sup>3+</sup>. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 9(4):166-172.
- Othmer, D.F. dan Kirk, R.E. 1997. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Paola, A., Cufalo, G., Addamo, M., Bellrdita, M., Campostrini, R., Ischia, M., Ceccato, R. dan Palmisano, L. 2008. Photocatalytic of Nanocrystalline TiO<sub>2</sub>(Brookite, Rutile dan Brookite-Based) Powders Prepared by Thermohydrolysis of TiCl<sub>4</sub> in Aqueous Chloride Solutions. *Journal of Colloids and Surfaces*. 317: 366-376.
- Prasetyo, A., R. Nafsiati, S.N., Kholifah dan A. Botianovi. 2012. *Analisis permukaan zeolit alam Malang yang mengalami modifikasi pori dengan uji SEM-EDS*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Qourzal, S., Tamimi, M., Assabbane, A., Bouamrane, A., Nounah, A., Laanab, L. And Ait-Ichou, Y. 2006. Preparation TiO Photocatalyst Using TiCl as a Precursor and Its Photocatalytic Performance. *Journal of Applied Science*. 7: 1553-1559.

- Ramoa, R.F. 1984. *Zeolit: Science and Technology*. Belgium: Martinus Nijhoff Publishers.
- Rini, D. K., Fendy A. L. 2010. Optimasi Aktivasi Zeolit Alam Untuk Dehumidifikasi. *Skripsi*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Rosita, N., Erawati, T., and Moegihardjo, M.. 2004. Pengaruh Perbedaan Metode Aktivasi Terhadap Efektivitas Zeolit sebagai Adsorben. *Majalah Farmasi Airlangga*. 4(1).
- Sagita, Fahmi. 2018. Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub>/zeolit variasi komposisi dengan metode sol-gel. *Skripsi*. Malang: Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Saragih, S. A. 2008. *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Batubara Riau Sebagai Adsorben*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Sclafani A, L. Palmisano, & M. Schiavello. 1990. Influence of the preparation methods of titanium dioxide on the photocatalytic degradation of phenol in aqueous dispersion. *Journal Physics Chemical*. 94(4): 445-456.
- Sivalingam, G, K. Nagaveni, M.S. Hedge dan Giridhar Madras. 2003. Photocatalytic Degradation of Various Dyes by Combustion Synthesized Nano Anatase TiO<sub>2</sub>. *Appl. Catal*: 45,23.
- Slamet, Syakur, R. dan Danumulyo, W. 2003. Pengolahan Limbah Logam Berat Chromium (VI) dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Makara Journal Technology*. 1: 7.
- Smallman, R.E. 2000. *Metalurgi Fisik Modern*. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka.
- Suryadi. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit dengan Proses Pengendapan Kimia Basah. *Tesis*. Jakarta: Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- Thermo Nicolet. 2001. *Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry*. USA : Thermo Nicolet Corporation.
- Trisunaryanti, W. 2001. Selectivity of an Active Natural Zeolit in Catalytic Conversion process of Bangkirai, Kruing and Kamper Woods Biofuel to Gasoline Fraction. *Journal Chemical*. 1: 35-42.
- Trisunaryanti, W., Endang, T. dan Sri, S. 2005. Preparasi, Karakterisasi dan Modifikasi Ni-Pd/ Zeolit alam, Indonesia. *Journal Chemical*. 5(1): 48-53.

- Wagiyo dan Handayani A. 1997. Petunjuk Praktikum Scanning Electron Microscope, SEM dan EDS (Energy Dispersive Spectrometer). Jakarta: Badan Tenaga Atom Nasional.
- Wardhani, s., Bahari., A. Dan Khunur, M. 2016. Aktivitas Fotokatalitik Beads  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit-Kitosan Pada Fotodegradasi Metilen Biru (Kajian Pengembangan, Sumber Sinar Dan Lama Penyinaran). *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology*. 03(02): 78-84.
- Wijaya, K. 2010. *Nanomaterial Berlapis dan Berpori: Sintesis, Karakterisasi dan Perannya sebagai Material Multi Fungsi*. Yogyakarta: UGM.
- Yuliusman, Purwanto, W.W., dan Nughoro, Y.S. 2013. Pemilihan Adsorben Untuk Penjerapan Karbon Monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isotermis Langmuir. *Chemical Engineering Journal*. 14(3): 225-233.
- Zawrah, M.F., EL-Kheshen. 2009. Facile And Economic Synthesis of Silica Nanoparticles. *Journal of Ovonic Research*. 5: 129-133.

**LAMPIRAN 1**

Perhitungan bahan yang digunakan untuk membuat material hibrida TiO<sub>2</sub>-zeolit

**1.1 Membuat 1000 mL HCl 6 M**

Menggunakan HCl pekat 12 M dengan kadar 37%

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$12M V_1 = 6M \times 1000 \text{ mL}$$

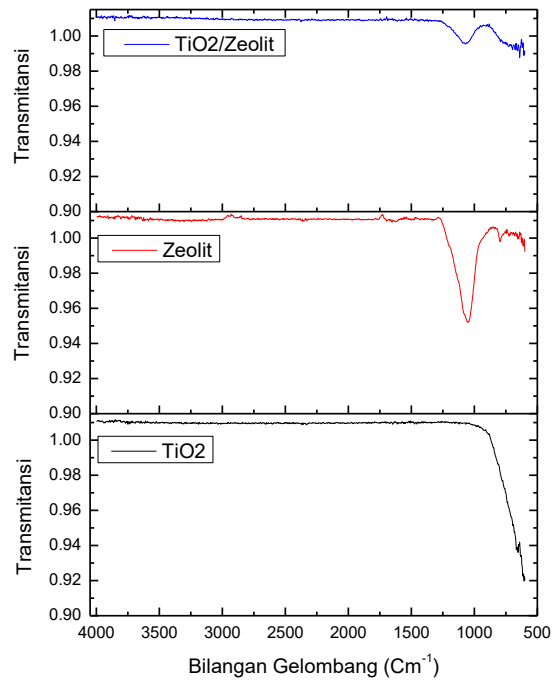
$$V_1 = \frac{6M}{12M} \times 1000 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1}{2} \times 1000 \text{ mL}$$

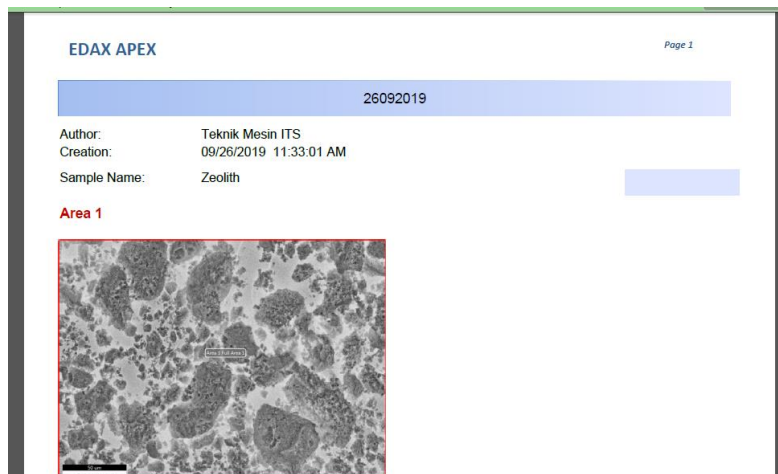
$$V_1 = 500 \text{ mL}$$

## LAMPIRAN 2

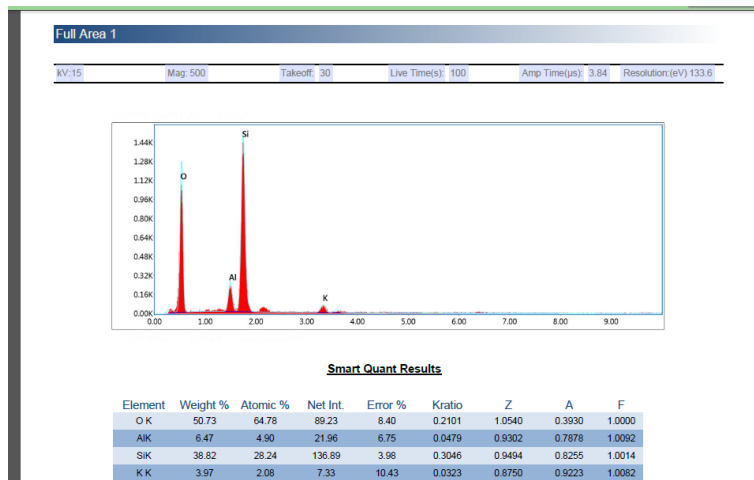
### 2.1 Spektrum serapan FTIR untuk material yang disintesis



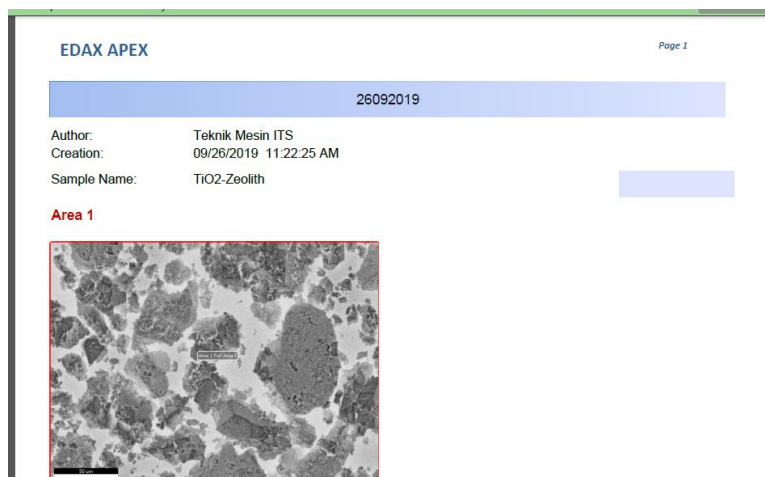
### 2.2 EDX zeolit



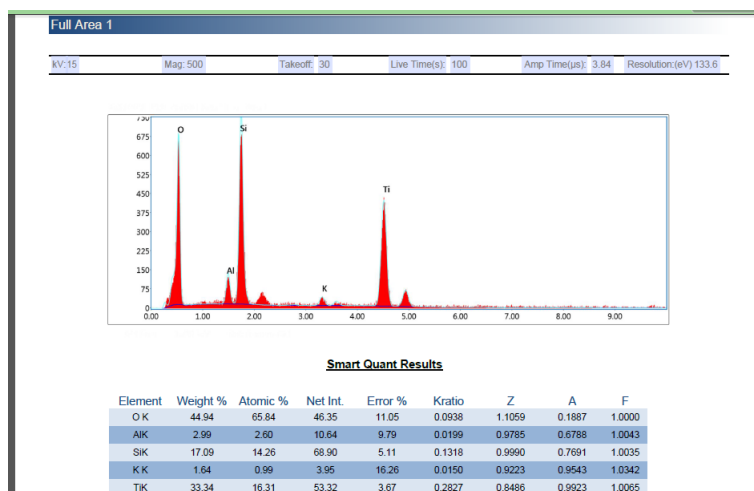
### 2.3 EDX zeolit dan komposisi unsurnya



### 2.4 EDX TiO<sub>2</sub>-zeolit



### 2.5 EDX TiO<sub>2</sub>-zeolit dan komposisi unsurnya



### LAMPIRAN 3

#### 3.1 Absorbansi maksimum tiap jam

Waktu (jam)	Absorbansi Maksimum (369 nm)					
	Kontrol	TiO <sub>2</sub> murni	Zeolit murni	TiO <sub>2</sub> -zeolit/1,5	TiO <sub>2</sub> -zeolit/3	TiO <sub>2</sub> -zeolit/4,5
0 jam	0,5418	0,5418	0,5418	0,5418	0,5418	0,5418
1 jam	0,53798	0,48042	0,49867	0,45973	0,5057	0,46437
2 jam	0,53045	0,43238	0,4451	0,3448	0,35348	0,38454
3 jam	0,52677	0,37833	0,4108	0,22987	0,31244	0,37057
4 jam	0,51778	0,34975	0,37651	0,1724	0,27629	0,34146
5 jam	0,51253	0,31192	0,35396	0,11493	0,25821	0,31662
6 jam	0,50739	0,29563	0,3489	0,08205	0,18839	0,28857
7 jam	0,50235	0,28042	0,32216	0,0605	0,15813	0,28
8 jam	0,49256	0,26521	0,30879	0,04231	0,138	0,23219
9 jam	0,48781	0,2576	0,30211	0,0275	0,11788	0,17679
10 jam	0,48315	0,25	0,29543	0,01375	0,09767	0,11609

#### 3.2 Perhitungan sisa Cr VI yang belum direduksi (%)

Waktu (jam)	R (%)				
	TiO <sub>2</sub>	Zeolit	TiO <sub>2</sub> -zeolit/1,5	TiO <sub>2</sub> -zeolit/3	TiO <sub>2</sub> -zeolit/4,5
0 jam	100	100	100	100	100
1 jam	89,30072	92,69304	85,45484962	93,99977694	86,31733522
2 jam	81,51192	83,90989	65,00141389	66,63776039	72,49316618
3 jam	71,82072	77,9847	43,63764072	59,31241339	70,34759003
4 jam	67,54799	72,71621	33,29599444	53,3605006	65,94692727
5 jam	60,85888	69,06132	22,42405323	50,37948998	61,77589605
6 jam	58,26485	68,76367	16,17099273	37,12922998	56,87341099
7 jam	55,82164	64,13059	12,04339604	31,47805315	55,73803125
8 jam	53,84319	62,69084	8,589816469	28,01689134	47,13943479
9 jam	52,80745	61,9319	5,637440807	24,16514627	36,24156946
10 jam	51,74376	61,14664	2,845907068	20,21525406	24,02773466

#### 3.3 Perhitungan Cr VI yang tereduksi

Waktu (jam)	Banyaknya Reduksi Cr VI				
	TiO <sub>2</sub>	Zeolit	TiO <sub>2</sub> -zeolit/1,5	TiO <sub>2</sub> -zeolit/3	TiO <sub>2</sub> -zeolit/4,5
0 jam	0	0	0	0	0
1 jam	10,69928	7,306963	14,54515	6,000223	13,68266
2 jam	18,48808	16,09011	34,99859	33,36224	27,50683

---

3 jam	28,17928	22,0153	56,36236	40,68759	29,65241
4 jam	32,45201	27,28379	66,70401	46,6395	34,05307
5 jam	39,14112	30,93868	77,57595	49,62051	38,2241
6 jam	41,73515	31,23633	83,82901	62,87077	43,12659
7 jam	44,17836	35,86941	87,9566	68,52195	44,26197
8 jam	46,15681	37,30916	91,41018	71,98311	52,86057
9 jam	47,19255	38,0681	94,36256	75,83485	63,75843
10 jam	48,25624	38,85336	97,15409	79,78475	75,97227

---