



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DESINFEKSI JAMUR KETOMBE SECARA  
FOTOKATALITIK MENGGUNAKAN  $\text{TiO}_2$  TERMODIFIKASI**

**SKRIPSI**

**EDI SUHENDRA**

**0706269735**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DESINFEKSI JAMUR KETOMBE SECARA  
FOTOKATALITIK MENGGUNAKAN  $\text{TiO}_2$  TERMODIFIKASI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**EDI SUHENDRA**

**0706269735**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Edi Suhendra

NPM : 0706269735

Tanda Tangan :



Tanggal : 21 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

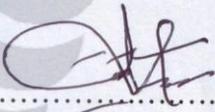
Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Edi Suhendra  
NPM : 0706269735  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Desinfeksi Jamur Ketombe secara Fotokatalitik  
Menggunakan TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

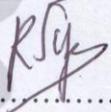
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

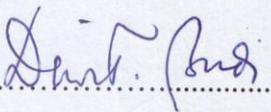
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Slamet, M.T.

(.....)

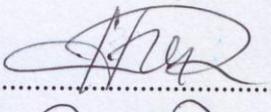
Pembimbing II: Dra. Ridhawati Syam, M.S., DAP&E.

(.....)

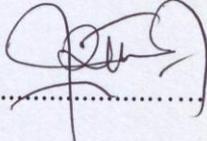
Penguji I : Ir. Dewi Tristantini, M.T., Ph.D.

(.....)

Penguji II : Bambang Heru Susanto, S.T., M.T.

(.....)

Penguji III : Ir. Rita Arbianti, M.Si.

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu wa Ta'ala* atas limpahan rahmat yang tiada tara dan petunjuk-Nya sehingga makalah skripsi ini dapat selesai dengan baik dan tepat waktu. Penulisan makalah skripsi dengan judul “**Desinfeksi Jamur Ketombe secara Fotokatalitik Menggunakan  $TiO_2$  Termodifikasi**” dilakukan dalam rangka memenuhi Tugas Akhir. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Slamet, M.T. selaku pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyusun makalah skripsi ini;
2. Ibu Dra. Ridhawati Syam, M.S., DAP&E selaku pembimbing II atas arahan-arahan dalam menentukan metode penelitian dan bimbingannya;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI;
4. Bapak Ir. Yuliusman, M.Eng. selaku koordinator skripsi Departemen Teknik Kimia FTUI;
5. Ibu Ir. Dewi Tristantini M.T., PhD selaku pembimbing akademis;
6. Kedua orang tua tercinta yang semangatnya masih dan akan tetap hidup di hati penulis meski keduanya telah tiada; serta kakak-kakak tercinta, yaitu: Kak Menik, Kak Leni, Kak Isu, dan Kak Heni atas doa yang senantiasa mengalir dengan tulusnya;
7. Winda, Ikha, Valent, dan Angel selaku rekan satu bimbingan Seminar dan Skripsi;
8. Alin atas kebaikan hatinya menghibahkan komputernya kepada penulis;
9. Sahabat-sahabat terbaik penulis di kampus, yaitu: Faris, Faldy, Hariri, Sukma, Ikmalul, Ryan, Habib T. Kimia 08, dan Migel T. Kimia 08; serta teman-teman Teknik Kimia 2007 atas dukungan moril kepada penulis.

Akhir kata, semoga makalah skripsi ini bermanfaat bagi orang banyak dan dapat berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2011

Edi Suhendra

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edi Suhendra  
NPM : 0706269735  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

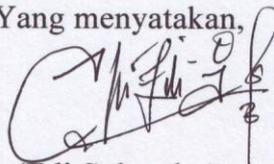
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Desinfeksi Jamur Ketombe secara Fotokatalitik Menggunakan TiO<sub>2</sub> Termodifikasi”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedium/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 21 Juni 2011  
Yang menyatakan,

  
(Edi Suhendra)

## ABSTRAK

Nama : Edi Suhendra  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Desinfeksi Jamur Ketombe secara Fotokatalitik Menggunakan TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

Desinfeksi *Malassezia globosa* (*M. globosa*) secara fotokatalitik menggunakan TiO<sub>2</sub> termodifikasi telah dilakukan. Tetraetilortosilikat (TEOS) sebagai prekursor silika dan urea sebagai sumber nitrogen ditambahkan ke TiO<sub>2</sub> Degussa P25. *Loading* urea dengan persen berat 0%, 5%, 10%, dan 15% tidak menurunkan *band gap* secara signifikan. Kinerja fotokatalis TiO<sub>2</sub> dalam mendesinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik dengan iradiasi sinar UV 3,3 kali lebih baik dibandingkan dengan kinerja TiO<sub>2</sub> di bawah sinar tampak. Sebagai *loading* optimal, urea 10% berhasil meningkatkan kinerja TiO<sub>2</sub> di bawah sinar tampak menjadi 2,1 kali lebih baik dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni. Dari hasil percobaan, waktu desinfeksi *M. globosa* yang paling efektif di bawah sinar tampak adalah selama 60 menit.

Kata kunci: fotokatalisis, ketombe, TiO<sub>2</sub>, *band gap*, *Malassezia globosa*

## ABSTRACT

Name : Edi Suhendra  
Study Program : Chemical Engineering  
Title : Photocatalytic Disinfection of Dandruff Yeast Using  
Modified TiO<sub>2</sub>

Photocatalytic disinfection of *Malassezia globosa* (*M. globosa*) using modified TiO<sub>2</sub> was investigated. Tetraethylortosilicate (TEOS) as silica precursor and urea as nitrogen source was loaded to Degussa P25 TiO<sub>2</sub>. Urea was loaded by adjusting its % weight (0%, 5%, 10%, and 15%) and did not give any significant impact to band gap. Photoactivity of TiO<sub>2</sub> in *M. globosa* disinfection under UV light was 3.3 times better than visible light. As the optimum loading, 10% urea had successfully enhanced the photoactivity of TiO<sub>2</sub> under visible light became 2.1 times better than neat TiO<sub>2</sub>. Based on this research results, the most effective time to disinfect *M. globosa* under visible light is 60 minutes.

Keywords: photocatalysis, dandruff, TiO<sub>2</sub>, band gap, *Malassezia globosa*

## DAFTAR ISI

|   |           |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL.....  | i         |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....  | ii        |
| HALAMAN PENGESAHAN.....   | iii       |
| KATA PENGANTAR .....  | iv        |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....                                 | v         |
| ABSTRAK.....  | vi        |
| DAFTAR ISI.....   | viii      |
| DAFTAR GAMBAR .....   | x         |
| DAFTAR TABEL.....   | xii       |
| <b>BAB 1</b>  |           |
| <b>PENDAHULUAN.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1. Latar Belakang.....  | 1         |
| 1.2. Rumusan Masalah .....  | 3         |
| 1.3. Tujuan Penelitian.....   | 3         |
| 1.4. Batasan Masalah.....   | 4         |
| 1.5. Sistematika Penulisan.....   | 4         |
| <b>BAB 2</b>  |           |
| <b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1. Penyebab dan Mekanisme Terjadinya Ketombe .....                          | 6         |
| 2.1.1. Kelenjar Sebacea ( <i>Sebaceous Gland</i> ).....                       | 8         |
| 2.1.2. Peranan <i>Malassezia</i> .....  | 9         |
| 2.1.3. Daya Tahan Tubuh.....  | 12        |
| 2.2. Kosmetik Anti Ketombe.....   | 13        |
| 2.3. Prinsip Dasar Fotokatalis.....   | 14        |
| 2.3.1. Proses Fotokatalitik pada Bahan Semikonduktor .....                    | 15        |
| 2.4. Mekanisme Desinfeksi Secara Fotokatalitik .....                          | 19        |
| 2.5. Modifikasi Fotokatalis TiO <sub>2</sub> .....                            | 21        |
| 2.6. Karakterisasi Katalis.....   | 23        |
| 2.6.1. Karakterisasi EDX ( <i>Energy Dispersive X-ray</i> ).....              | 23        |
| 2.6.2. Karaterisasi <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) .....                      | 25        |
| 2.6.3. Karakterisasi <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS) .....      | 27        |
| <b>BAB 3</b>  |           |
| <b>METODE PENELITIAN .....</b>  | <b>30</b> |
| 3.1. Diagram Alir Penelitian.....   | 30        |
| 3.1.1. Diagram Alir Subkultur <i>M. globosa</i> .....                         | 31        |
| 3.1.2. Diagram Alir Sintesis Fotokatalis TiO <sub>2</sub> Termodifikasi ..... | 32        |
| 3.1.3. Diagram Alir Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....                        | 33        |
| 3.2. Lokasi Penelitian .....  | 34        |
| 3.3. Peralatan Penelitian .....   | 34        |
| 3.3.1. Peralatan Subkultur <i>M. globosa</i> .....                            | 34        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.2. Peralatan Sintesis Fotokatalis TiO <sub>2</sub> Termodifikasi.....     | 35        |
| 3.3.3. Peralatan Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....                           | 35        |
| 3.4. Bahan-bahan Penelitian.....  | 36        |
| 3.4.1. Bahan Subkultur <i>M. globosa</i> .....                                | 36        |
| 3.4.2. Bahan Sintesis Fotokatalis TiO <sub>2</sub> Termodifikasi.....         | 36        |
| 3.4.3. Bahan Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....                               | 37        |
| 3.5. Prosedur Penelitian.....   | 37        |
| 3.5.1. Prosedur Subkultur <i>M. globosa</i> .....                             | 37        |
| 3.5.2. Prosedur Sintesis Fotokatalis TiO <sub>2</sub> Termodifikasi.....      | 38        |
| 3.5.3. Prosedur Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....                            | 38        |
| 3.5.4. Karakterisasi Fotokatalis TiO <sub>2</sub> Termodifikasi.....          | 39        |
| 3.6. Parameter Penelitian.....  | 39        |
| 3.7. Pengambilan, Pengolahan, dan Analisis Data.....                          | 40        |
| 3.7.1. Karakterisasi Fotokatalis Hasil Sintesis.....                          | 40        |
| 3.7.2. Desinfeksi Jamur <i>M. globosa</i> .....                               | 40        |
| <b>BAB 4</b>  |           |
| <b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>   | <b>41</b> |
| 4.1. Analisis Percobaan Secara Umum.....                                      | 41        |
| 4.1.1. Sintesis Fotokatalis TiO <sub>2</sub> Termodifikasi.....               | 41        |
| 4.1.2. Konfigurasi Reaktor Fotokatalisis.....                                 | 42        |
| 4.1.3. Percobaan Desinfeksi <i>M. globosa</i> secara Fotokatalitik.....       | 44        |
| 4.2. Karakterisasi <i>Energy Dispersive X-ray</i> (EDX).....                  | 45        |
| 4.3. Karakterisasi <i>Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (DRS).....         | 47        |
| 4.4. Karakterisasi <i>X-ray Diffraction</i> (XRD).....                        | 48        |
| 4.5. Pengaruh Beberapa Perlakuan terhadap Resistensi <i>M. globosa</i> .....  | 49        |
| 4.5.1. Pengaruh TiO <sub>2</sub> terhadap Resistensi <i>M. globosa</i> .....  | 49        |
| 4.5.2. Pengaruh <i>Loading</i> Urea pada TiO <sub>2</sub> Termodifikasi.....  | 51        |
| 4.6. Analisis Fenomena Desinfeksi <i>M. globosa</i> secara Fotokatalitik..... | 56        |
| <b>BAB 5</b>  |           |
| <b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>60</b> |
| 5.1. Kesimpulan.....  | 60        |
| 5.2. Saran.....   | 60        |
| <b>DAFTAR REFERENSI .....</b>   | <b>61</b> |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>  | <b>65</b> |
| Lampiran A: Data Jumlah Koloni <i>M. globosa</i> .....                        | 65        |
| Lampiran B: Data Karakterisasi.....   | 66        |
| B.1. Hasil Karakterisasi EDX.....   | 66        |
| B.2. Hasil Karakterisasi XRD.....   | 73        |
| Lampiran C: Dokumentasi Penelitian.....                                       | 74        |
| C.1. Penampakan Koloni <i>M. globosa</i> di Bawah Mikroskop.....              | 75        |
| C.2. Contoh Hasil Percobaan Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....                | 76        |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2. 1. Perbandingan (a) Kulit Kepala Normal dan (b) Kulit Kepala yang Berketombe.....             | 6  |
| Gambar 2. 2. Persebaran Ketombe pada Beberapa Ras di Dunia .....  | 7  |
| Gambar 2. 3. Letak Kelenjar Sebacea pada Kulit .....  | 8  |
| Gambar 2. 4. Komposisi Relatif Sebum pada Kulit Manusia .....   | 9  |
| Gambar 2. 5. Grafik Jenis Jamur pada Penderita Ketombe .....  | 10 |
| Gambar 2. 6. Mekanisme Terjadinya Ketombe .....   | 11 |
| Gambar 2. 7. Iritasi oleh <i>Malassezia</i> pada Kulit Kepala.....                                      | 12 |
| Gambar 2. 8. Mekanisme Reaksi Fotokatalisis pada Permukaan .....  | 17 |
| Gambar 2. 9. Struktur Kristal <i>Anatase</i> TiO <sub>2</sub> (a) (101), (b) (100), dan (c) (001)...    | 18 |
| Gambar 2. 10. Struktur Sel Mikroorganisme .....   | 19 |
| Gambar 2. 11. Mekanisme Desinfeksi Mikroorganisme oleh TiO <sub>2</sub> .....                           | 19 |
| Gambar 2. 12. Mekanisme Desinfeksi Mikroorganisme secara Fotokatalitik oleh TiO <sub>2</sub> .....      | 20 |
| Gambar 2. 13. Perbandingan Fisik <i>Fusarium equiseti</i> (a) Sebelum dan (b) Setelah Desinfeksi.....   | 20 |
| Gambar 2. 14. Mekanisme Penurunan <i>Band Gap</i> Dengan Kehadiran Nitrogen pada TiO <sub>2</sub> ..... | 22 |
| Gambar 2. 15. Diagram <i>Scanning Electron Microscope</i> .....   | 24 |
| Gambar 2. 16. Sinar-X yang Masuk dalam Susunan Atom .....   | 25 |
| Gambar 2. 17. Ilustrasi Mengenai <i>Band Gap</i> pada Semikonduktor .....                               | 27 |
| Gambar 2. 18. (a) Alat Uji DRS dengan (b) <i>Sample Holder</i> .....                                    | 28 |
| Gambar 2. 19. Grafik Panjang Gelombang versus Absorbansi pada Karakterisasi UVvis .....                 | 28 |
| Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian secara Garis Besar.....  | 30 |
| Gambar 3. 2. Diagram Alir Subkultur <i>M. globosa</i> .....   | 31 |
| Gambar 3. 3. Diagram Alir Pembuatan TiO <sub>2</sub> Termodifikasi .....                                | 32 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3. 4. Diagram Alir Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....   | 33 |
| Gambar 4. 1. Konfigurasi Fotoreaktor Desinfeksi secara Keseluruhan dengan (a) Rancangan (b) Realisasi .....  | 43 |
| Gambar 4. 2. Fotoreaktor yang Diselimuti dengan Reflektor.....   | 44 |
| Gambar 4. 3. Penampakan Koloni <i>M. globosa</i> dengan Pengenceran (a) 10 kali, (b) 100 kali, dan (c) 1000 kali .....   | 45 |
| Gambar 4. 4. Grafik Absorbansi TiO <sub>2</sub> Termodifikasi pada Sinar UV sebagai pada Tiga Sampel dengan <i>Loading</i> Urea 0% (ungu), 5% (biru), 10% (merah), dan 15% (hijau).....  | 47 |
| Gambar 4. 5. Hasil karakterisasi XRD pada fotokatalis komposit TiO <sub>2</sub> termodifikasi.....   | 48 |
| Gambar 4. 6. Pengaruh TiO <sub>2</sub> terhadap resistensi <i>M. globosa</i> dengan jumlah koloni awal (N <sub>0</sub> ) masing-masing adalah kontrol (9 koloni), UV (64 koloni), UV+TiO <sub>2</sub> (56 koloni), s. tampak (60 koloni), dan s.tampak+TiO <sub>2</sub> (20 koloni).....             | 50 |
| Gambar 4. 7. Persentase Desinfeksi TiO <sub>2</sub> terhadap <i>M. globosa</i> pada t = 60 menit .....   | 51 |
| Gambar 4. 8. Pengaruh <i>loading</i> urea pada TiO <sub>2</sub> termodifikasi terhadap resistensi <i>M. globosa</i> pada sinar UV dengan jumlah koloni awal (N <sub>0</sub> ) masing-masing adalah <i>loading</i> urea 0% (55 koloni), 5% (1000 koloni), 10% (92 koloni), dan 15% (39 koloni). ..... | 52 |
| Gambar 4. 9. Pengaruh <i>Loading</i> Urea terhadap % desinfeksi <i>M. globosa</i> pada t = 60 menit Di bawah Sinar UV .....  | 53 |
| Gambar 4. 10. Pengaruh <i>loading</i> urea pada TiO <sub>2</sub> termodifikasi terhadap resistensi <i>M. globosa</i> pada sinar tampak dengan jumlah koloni awal (N <sub>0</sub> ) dengan <i>loading</i> urea 0%, 5%, 10%, dan 15% berturut-turut adalah 10, 34, 27, dan 33 koloni.....              | 55 |
| Gambar 4. 11. Pengaruh <i>Loading</i> Urea terhadap Persentase Desinfeksi <i>M. globosa</i> pada t =60 menit pada Sinar Tampak.....  | 55 |
| Gambar 4. 12. Mekanisme Desinfeksi Mikroorganisme secara Fotokatalitik oleh TiO <sub>2</sub> (Sunada <i>et al.</i> , 2003).....  | 57 |
| Gambar 4. 13. Persentase Desinfeksi <i>M. globosa</i> pada Berbagai Perlakuan pada t = 60 menit .....  | 59 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1. Aplikasi Fotokatalis Komposit N-TiO <sub>2</sub> .....  | 23 |
| Tabel 3. 1. Daftar Peralatan Subkultur <i>M. globosa</i> .....  | 34 |
| Tabel 3. 2. Daftar Peralatan Sintesis Fotokatalis .....   | 35 |
| Tabel 3. 3. Daftar Peralatan Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....   | 35 |
| Tabel 3. 4. Daftar Bahan Subkultur <i>M. globosa</i> .....  | 36 |
| Tabel 3. 5. Daftar Bahan Sintesis Fotokatalis .....   | 36 |
| Tabel 3. 6. Daftar Bahan Desinfeksi <i>M. globosa</i> .....   | 37 |
| Tabel 4. 1. Komposisi Unsur Fotokatalis pada Hasil dengan <i>Loading</i> Urea (a) 0%,<br>(b) 5%, (c) 10%, dan (d) 15% ..... | 46 |
| Tabel 4. 2. <i>Band Gap</i> pada TiO <sub>2</sub> Termodifikasi .....   | 48 |
| Tabel 4. 3. Tabulasi Pengaruh TiO <sub>2</sub> pada Resistensi <i>M. globosa</i> .....                                      | 50 |
| Tabel 4. 4. Tabulasi Pengaruh <i>Loading</i> Nitrogen pada Resistensi <i>M. Globosa</i> di<br>Bawah Sinar UV .....          | 52 |
| Tabel 4. 5. Tabulasi Pengaruh <i>Loading</i> Nitrogen pada Resistensi <i>M. globosa</i> di<br>Bawah Sinar Tampak .....      | 54 |

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Masalah ketombe pada manusia cukup krusial. Selain mengganggu kenyamanan, ketombe juga berdampak buruk pada penampilan seseorang. Serpihan-serpihan ketombe yang terlihat di rambut maupun yang menempel di baju dapat mengurangi rasa percaya diri seseorang yang berketombe. Ketombe (*pityriasis capitis*) atau *dandruff* merupakan suatu kondisi abnormal yang ditandai dengan terjadinya pengelupasan lapisan tanduk secara berlebihan dari kulit kepala yang membentuk sisik-sisik halus (Ashbee, 2007; Dawson, 2007).

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh para peneliti *Procter & Gamble Beauty (P&G Beauty)*, ditemukan bahwa ketombe banyak menyerang lebih dari 50 % orang Kaukasia dan 80 % orang Afrika (Kit, 2004). Ketombe disebabkan oleh tiga faktor utama, yaitu: aktivitas kelenjar sebacea (*sebaceous gland*), buangan protein dari dua jenis jamur *Malassezia* (*Malassezia restricta* dan *Malassezia globosa*), dan daya tahan tubuh seseorang (Gupta *et al.*, 2003; Ro dan Dawson, 2005). *Malassezia* adalah genus jamur *lipophilic* yang merupakan bagian dari flora normal kulit kepala manusia. *Malassezia restricta* dan *Malassezia globosa* memakan asam lemak dari folikel rambut. Penyerapan sebagian asam lemak yang tinggal di kulit menyebabkan iritasi di kulit kepala yang menyebabkan terjadinya ketombe (Kindo *et al.*, 2003; Ro dan Dawson, 2005).

Saat ini telah banyak produk sampo anti ketombe yang beredar di pasaran. Walaupun sebagian telah terbukti dapat mengatasi ketombe, akan tetapi sampo anti ketombe dapat menimbulkan efek samping. Selain menyebabkan efek samping seperti kekeringan pada kulit kepala dan kerontokan rambut (Naturakos-BPOM RI, September 2009), bahan-bahan kimia pada sampo konvensional dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya suatu terobosan teknologi yang ramah lingkungan dan aman bagi kulit kepala.

Teknologi fotokatalisis diharapkan dapat menjadi solusi atas permasalahan tersebut. Beberapa penelitian yang berkenaan dengan desinfeksi mikroorganisme seperti bakteri dan jamur secara fotokatalitik pun telah dilakukan oleh beberapa

peneliti terdahulu. Mitoraj *et al.* (2006) melakukan desinfeksi pada bakteri (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, dan *Enterococcus faecalis*) dan jamur (*Candida albicans* dan *Aspergillus niger*) menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub> Degussa P25 di bawah sinar tampak. TiO<sub>2</sub> tersebut dimodifikasi dengan memberikan senyawa kompleks platina (IV) klorida (4% H<sub>2</sub>[PtCl<sub>6</sub>]/TH-0) dan didopan dengan karbon (C/TiO<sub>2</sub>). Waktu desinfeksi untuk setiap jenis mikroorganisme berbeda-beda tergantung pada struktur membran dan dinding selnya.

Sementara itu, Xin-chengshen *et al.* (2008) melakukan desinfeksi terhadap bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) menggunakan komposit CdSe/ZnS-TiO<sub>2</sub> (lapisan QDs-TiO<sub>2</sub>) di bawah sinar tampak dengan merusak DNA dari bakteri tersebut. Peneliti lain, Hu (2006), berhasil melakukan desinfeksi terhadap bakteri *E. coli* (50 menit) dan *Staphylococcus aureus* (80 menit) menggunakan fotokatalis NiO/SrBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> di bawah sinar tampak ( $\lambda > 420$  nm). Pada penelitian yang masih terkait, Ag/AgBr/WO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O sebagai fotokatalis diuji responsivitasnya terhadap sinar tampak dan efektivitasnya dalam mendesinfeksi bakteri *E. coli* dibandingkan dengan fotokatalis WO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O, AgBr, dan TiO<sub>2</sub> berdopan nitrogen. Hasilnya cukup signifikan, dimana responsivitas Ag/AgBr/WO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O lebih unggul terhadap sinar tampak dan lebih efektif dalam mendesinfeksi bakteri (Wang *et al.*, 2009).

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penelitian yang terkait dengan desinfeksi terhadap jamur secara fotokatalitik masih jarang dilakukan, apalagi terhadap jamur ketombe, *Malassezia globosa* ataupun *Malassezia restricta*. Hal tersebutlah yang kemudian menjadi inspirasi untuk dilakukannya penelitian berupa desinfeksi jamur ketombe, *Malassezia globosa*, secara fotokatalitik. Tantangannya adalah, bagaimana mendapatkan fotokatalis yang ramah lingkungan serta memiliki responsivitas yang tinggi di bawah sinar tampak agar dapat diaplikasikan sebagai kosmetik anti ketombe.

Meskipun terbukti efektif dalam mendesinfeksi mikroorganisme seperti jamur dan bakteri, fotokatalis seperti H<sub>2</sub>[PtCl<sub>6</sub>]/TH-0, CdSe/ZnS-TiO<sub>2</sub>, NiO/SrBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, dan Ag/AgBr/WO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O dikhawatirkan tidak aman bagi kulit dan lingkungan. TiO<sub>2</sub> dengan sifat *non-toxic* (Sun *et al.*, 2003; Seven *et al.*, 2004; Dalrymple *et al.*, 2010), memiliki aktivitas katalis yang tinggi (Sun, *et al.*, 2003; Dalrymple *et al.*, 2010), stabilitas tinggi (Seven *et al.*, 2004), dan relatif murah

(Mitoraj *et al.*, 2006; Dang *et al.*, 2010) menjadi alasan pemilihan katalis.  $\text{TiO}_2$  yang didopan dengan nitrogen (Asahi, 2001; Burda *et al.*, 2003; Dang *et al.*, 2010) diharapkan dapat memiliki responsivitas yang tinggi di bawah sinar tampak dalam mendesinfeksi *Malassezia globosa*.

Pada penelitian ini digunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  yang dimodifikasi dengan pemberian dopan nitrogen yang ditambah dengan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dengan maksud untuk menurunkan *band gap* sehingga lebih responsif di bawah sinar tampak (Dang *et al.*, 2010). Tetraetilortosilikat (TEOS) dan urea digunakan sebagai prekursor/ bahan awal masing-masing untuk  $\text{SiO}_2$  dan nitrogen. Variasi *loading* urea (5%, 10%, dan 15 % berat  $\text{TiO}_2$ ) dilakukan untuk mengetahui *loading* urea optimal sehingga didapatkan ramuan pembasmi jamur penyebab ketombe yang ampuh.

Diharapkan penelitian ini dapat menjadi inisiasi bagi peneliti lain untuk melakukan penelitian-penelitian lanjutan yang terkait dengan masalah ini. Penelitian-penelitian lanjutan tersebut nantinya akan menjadi cikal bakal produk yang dapat menutupi kekurangan-kekurangan dari sampo ketombe yang telah ada saat ini. Bila diteliti lebih lanjut, akan sangat mungkin tercipta produk anti ketombe komersial sebagai *output* dari penelitian ini di kemudian hari.

## 1.2. Rumusan Masalah

Fokus masalah pada penelitian ini adalah menentukan *loading* nitrogen yang optimal pada  $\text{TiO}_2$  dalam mendesinfeksi *Malassezia globosa* (*M. globosa*) secara fotokatalitik.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui *loading* urea yang optimal pada fotokatalis  $\text{TiO}_2$  di bawah sinar tampak; dan
2. Mengetahui waktu desinfeksi yang efektif pada proses desinfeksi *M. globosa*.

#### 1.4. Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini ialah:

1. Jamur uniseluler (*yeast*) yang digunakan adalah *M. globosa*, merupakan jamur yang paling berperan dalam pembentukan ketombe;
2. Percobaan dilakukan secara *in vitro* di atas medium *M. globosa*, yaitu: *Sabouraud Dekstrose Agar* (SDA) + *olive oil*;
3. Fotokatalis yang digunakan adalah  $\text{TiO}_2$  yang didopan dengan nitrogen ditambah dengan  $\text{SiO}_2$ ;
4. Prekursor yang digunakan adalah tetraetilortosilikat (TEOS) sebagai sumber silika ( $\text{SiO}_2$ ), urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) sebagai sumber nitrogen, dan  $\text{TiO}_2$  P25 Degussa sebagai sumber  $\text{TiO}_2$ ;
5. Konsentrasi fotokatalis adalah sebanyak 1 gr/ L (Seven, 2004);
6. Sumber foton yang digunakan adalah lampu pijar (sinar tampak) dan lampu UV;
7. Karakterisasi yang digunakan adalah *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS), *X-ray Diffraction* (XRD), dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX);

#### 1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi empat bab, yaitu:

##### BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penelitian, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, serta sistematika penulisan skripsi ini.

##### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian, meliputi: pengertian dan penyebab ketombe, zat kimia pada sampo anti ketombe konvensional, kerugian yang ditimbulkan oleh sampo anti ketombe konvensional, mekanisme dasar fotokatalisis, mekanisme desinfeksi jamur ketombe secara fotokatalitik, modifikasi fotokatalis  $\text{TiO}_2$ , dan karakterisasi katalis.

**BAB 3 METODE PENELITIAN**

Berisi diagram alir penelitian, lokasi penelitian, peralatan penelitian, bahan penelitian dan prosedur yang dilakukan dalam penelitian.

**BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi sajian data dalam bentuk tabel, diagram, dan juga grafik. Selain itu juga terdapat analisis data hasil percobaan. Hal yang dibahas adalah karakterisasi (EDX, XRD, dan DRS), pengaruh beberapa perlakuan terhadap resistensi *M. globosa*, desinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik.

**BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan penelitian yang mengacu pada tujuan penelitian. Selain itu ada juga saran untuk penelitian kedepannya agar lebih baik lagi.

**DAFTAR PUSTAKA**

Berisi daftar referensi ilmiah yang digunakan seperti jurnal ilmiah, majalah, undang-undang, skripsi, dan sumber lain.

**LAMPIRAN**

Berisi data jumlah koloni *M. globosa* pada berbagai perlakuan; data hasil karakterisasi EDX, DRS, dan XRD; dan dokumentasi penelitian.

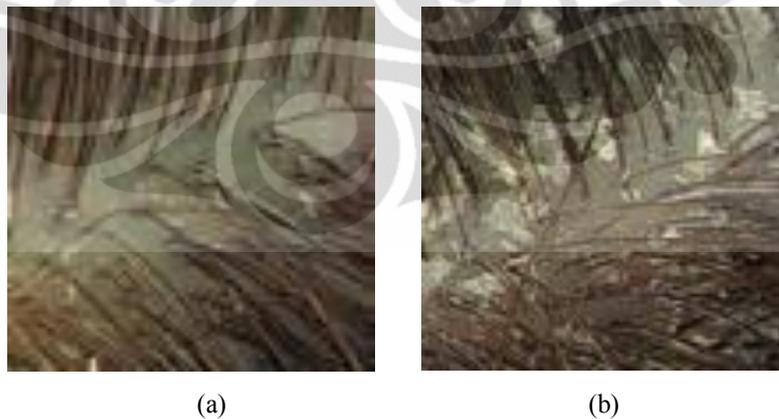
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penyebab dan Mekanisme Terjadinya Ketombe

Ketombe (*pityriasis capitis*) adalah sejenis kelainan kulit atau peradangan kulit kepala yang sangat ringan, namun sering menjadi masalah bagi penderita karena dapat mengurangi penampilan/ daya tarik dan membuat seseorang tidak percaya diri. Hal tersebut akibat kotornya rambut yang merupakan mahkota bagi setiap orang dan kadang-kadang disertai rasa gatal yang mengganggu.

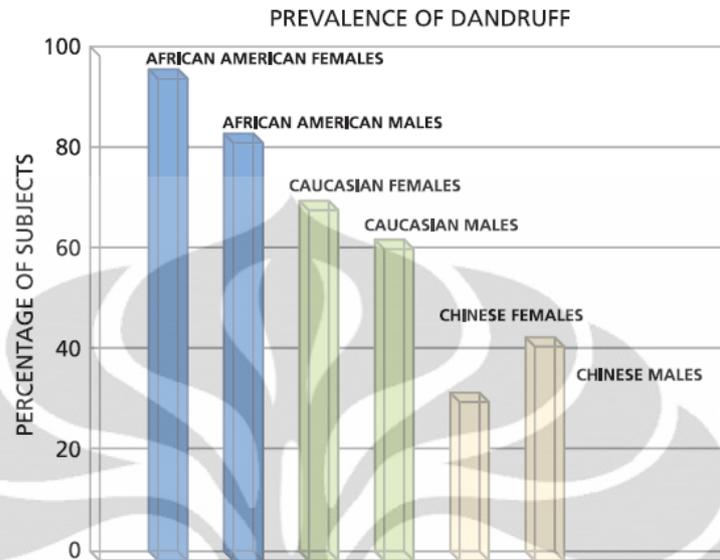
Kulit kepala yang normal akan memperbarui diri setiap 28 hari sekali (Kit, 2004), sel kulit kepala yang mati secara normal akan dikeluarkan/ didorong ke permukaan kulit. Sel kulit kepala yang mati selanjutnya akan lepas dengan sendirinya. Namun, dalam kondisi – kondisi tertentu pelepasan ini tidak terjadi sehingga sel – sel mati menumpuk di permukaan kulit kepala dan terlihat sebagai ketombe. Ketombe dapat terjadi karena penumpukan sel epidermis kulit kepala dalam jumlah yang banyak. Ketombe ini berwarna putih, kering kecil, yang terdapat pada kulit kepala paling atas. Gambar 2.1 di bawah ini memperlihatkan perbandingan kulit kepala normal dan kulit kepala yang berketombe.



**Gambar 2. 1.** Perbandingan (a) Kulit Kepala Normal dan (b) Kulit Kepala yang Berketombe (Kit, 2004)

Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh para peneliti *Procter & Gamble Beauty (P&G Beauty)* ditemukan bahwa ketombe banyak menyerang lebih dari 50 % orang Kaukasia dan 80 % orang Afrika (Kit, 2004). Wanita Afrika paling berpotensi terkena ketombe, sedangkan wanita Cina berisiko paling kecil

terkena ketombe. Data tersebut disajikan dalam bentuk diagram batang pada gambar 2.2 berikut ini.



**Gambar 2. 2.** Persebaran Ketombe pada Beberapa Ras di Dunia  
(Kit, 2004)

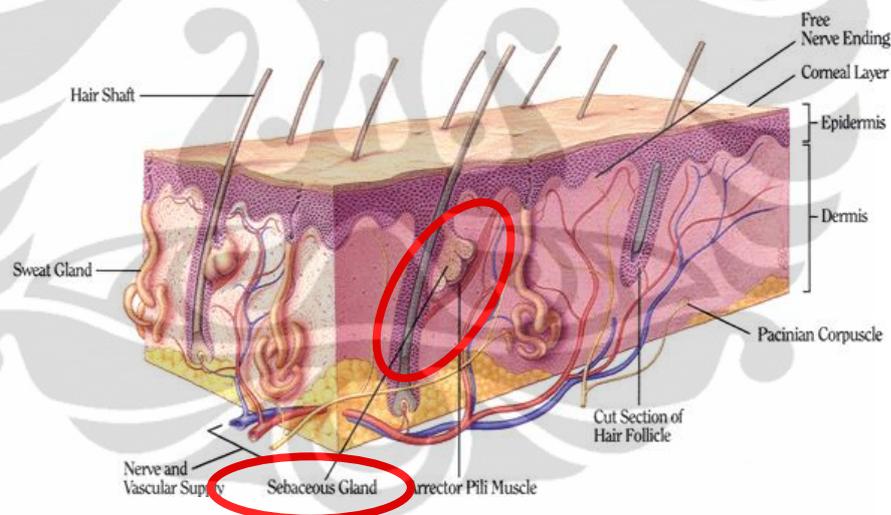
Terjadinya ketombe (yang dalam bahasa medisnya disebut *dandruff*), gejala awalnya ditandai dengan rasa gatal, yang kemudian diikuti dengan mengelupasnya kulit akibat pembelahan sel secara berlebihan dan adanya mikroorganisme yang berlebihan pada kulit kepala. Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya ketombe (Naturakos-BPOM, Desember 2009), antara lain:

1. Iklim dan cuaca yang merangsang kegiatan kelenjar kulit.
2. Makanan yang berkadar lemak tinggi.
3. Stress yang menyebabkan meningkatnya aktifitas kelenjar kulit.
4. Genetik/ keturunan tertentu yang mempunyai lemak kulit berlebihan.
5. Obat – obatan yang menstimulasi kelenjar minyak.
6. Higien kulit yang buruk sehingga menyebabkan peningkatan jumlah flora kulit.
7. Usia tertentu, seperti usia remaja, dimana terjadi perubahan hormon yang akan menstimulasi kelenjar sebacea untuk menghasilkan sebum.
8. Obat-obatan yang dapat menurunkan daya tahan tubuh.

Menurut hasil penelitian yang dilakukan Ro dan Dawson (2005), ada tiga faktor utama penyebab timbulnya ketombe, yaitu: aktivitas kelenjar sebacea (*sebaceous gland*), peranan *Malassezia*, dan daya tahan tubuh seseorang. Berikut ini akan dijelaskan masing-masing faktor utama tersebut.

### 2.1.1. Kelenjar Sebacea (*Sebaceous Gland*)

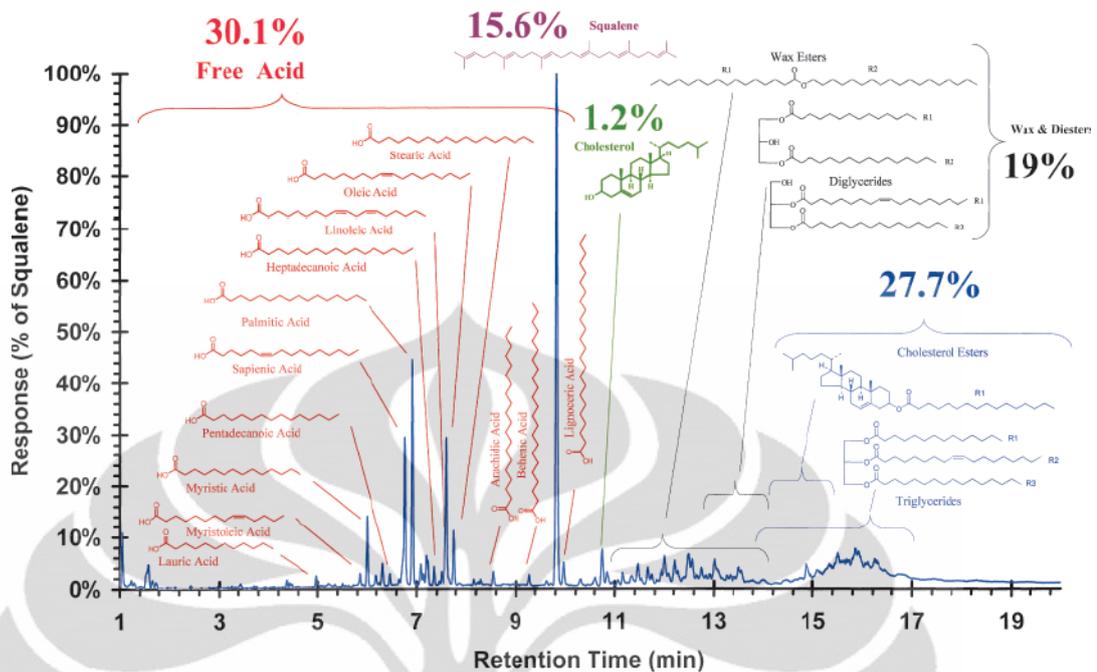
Kelenjar sebacea terdapat di seluruh bagian kulit, kecuali pada telapak tangan dan telapak kaki, dan jumlahnya paling banyak terdapat di belakang kepala, muka, telinga, alat kelamin, dan daerah anus. Kebanyakan berkaitan dengan folikel rambut, akan tetapi beberapa, seperti kelenjar Meibomian (pada kelopak mata), kelenjar Tyson (pada foreskin), dan kelenjar sebacea di sekitar puting susu dan di sepanjang bibir atas, selesai langsung pada permukaan kulit. Agar lebih jelas lagi, letak kelenjar sebacea dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



**Gambar 2.3.** Letak Kelenjar Sebacea pada Kulit

(*Skin Structure and Function*, n.d.)

Pada gambar 2.3 terlihat bahwa kelenjar sebacea terletak pada bagian atas kulit jangat berdekatan dengan kandung rambut yang terdiri dari gelembung-gelembung kecil yang bermuara ke dalam kandung rambut (*folikel*). Kelenjar sebacea ini menghasilkan sebum, melalui sekresi, yang mengandung campuran kompleks dari trigliserida, asam lemak, ester lilin (*wax esters*), *sterol esters*, kolesterol, dan ester kolesterol yang dapat dilihat pada gambar 2.4 (Ro dan Dawson, 2005).



**Gambar 2. 4.** Komposisi Relatif Sebum pada Kulit Manusia  
(Ro dan Dawson, 2005)

Pada penelitian yang dilakukan ulang oleh Dawson (2007) disebutkan bahwa produksi sebum sebagai hasil sekresi pada kelenjar sebacea tersebut akan meningkat mulai dari usia remaja sampai dewasa. Kemudian, setelah dewasa, produksi sebum akan menurun. Pada kondisi normal (jumlah normal), sebum berkaitan dengan perlindungan kulit epidermis dari sinar UV, transportasi antioksidan pada kulit, dan beberapa fungsi lain. Akan tetapi, jika jumlah sebum pada kulit berlebihan, maka akan menimbulkan dampak buruk seperti terjadinya penumpukan lemak pada di bawah kulit. Hal ini akan berhubungan dengan perkembangbiakan *M. globosa* dan *M. restricta* yang akan mengonsumsi asam lemak yang terkandung pada sebum tersebut. Dalam hal ini, asam lemak bebas memainkan peran yang penting dalam penyebab awal terbentuknya ketombe.

### 2.1.2. Peranan *Malassezia*

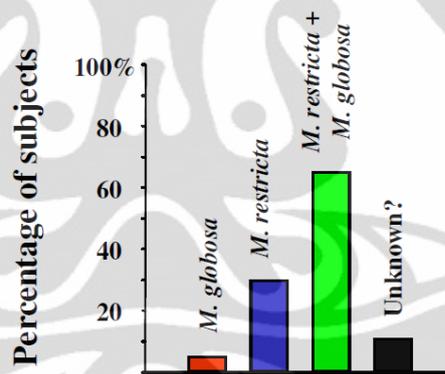
Lebih dari 100 yang lalu, Malassez menemukan bahwa jamur *Pityrosporum* (secara spesifik adalah *Pityrosporum ovale*) merupakan jamur (*yeast*) penyebab ketombe yang juga merupakan flora normal pada kulit manusia (Ro dan Dawson, 2005). Kemudian, pada tahun 1996, *Pityrosporum* direklasifikasikan menjadi tujuh spesies *Malassezia* yang disinyalir sebagai

penyebab ketombe. *M. globosa* sendiri merupakan jenis jamur lipofilik dengan taksonomi sebagai berikut:

Kingdom : *Fungi*  
 Phylum : *Basidiomycota*  
 Class : *Hymenomyces*  
 Order : *Tremellales*  
 Family : *Filobasidiaceae*  
 Genus : *Malassezia*  
 Spesies : *Malassezia globosa*

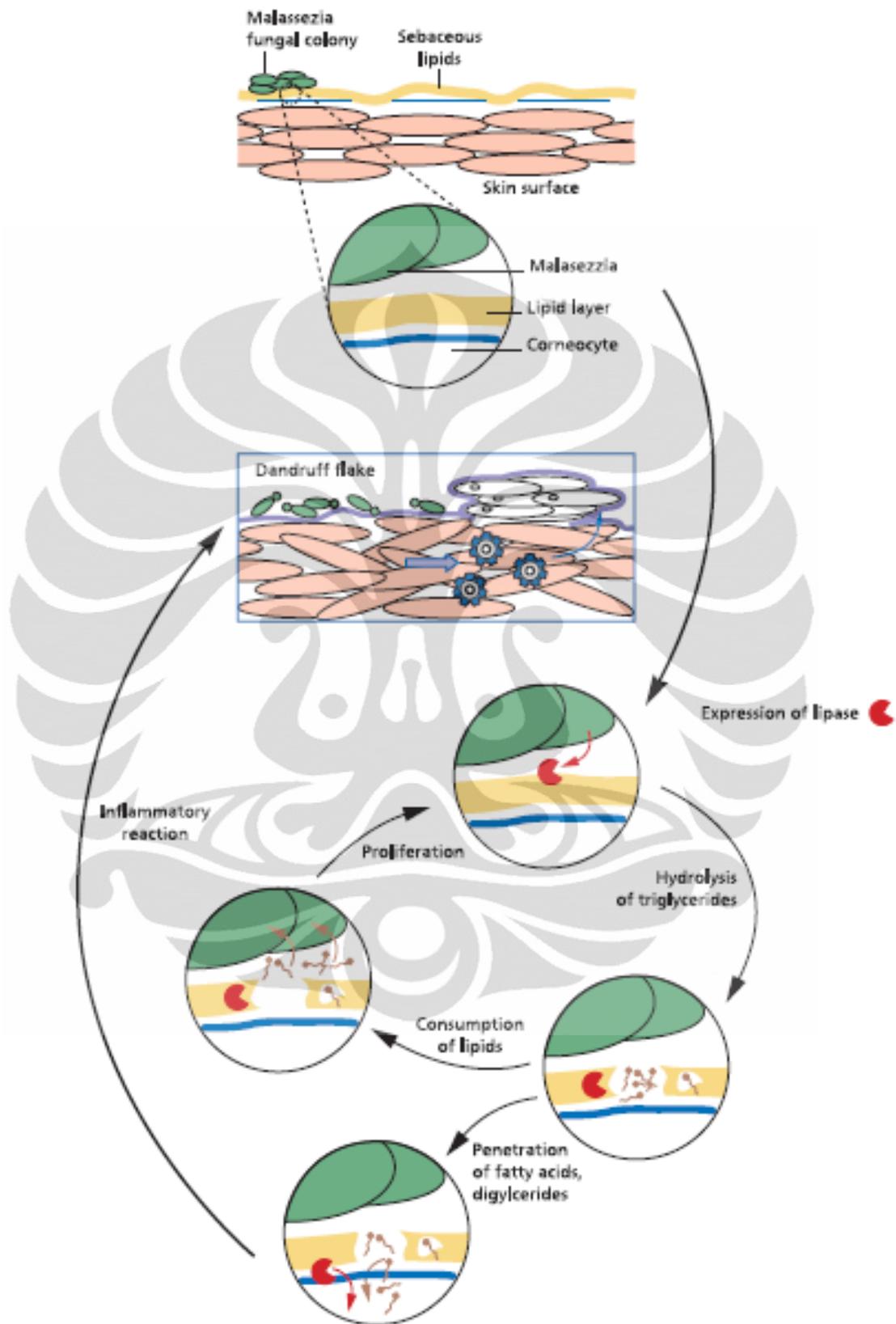
(*Taxonomic Classification*, 2002)

Meskipun ada banyak perdebatan mengenai apakah jamur yang sebenarnya agen penyebab ketombe, sekarang telah ada kesepakatan umum bahwa penyebab ketombe adalah *M. globosa* dan *M. restricta*. Hal tersebut dapat dibuktikan dari grafik hasil penelitian Gupta *et al.* (2003) pada gambar 2.5.



**Gambar 2. 5.** Grafik Jenis Jamur pada Penderita Ketombe  
(Gupta *et al.*, 2003)

Pada kondisi normal, *M. globosa* dan *M. restricta* memang sudah terdapat pada kulit manusia. Dalam jumlah yang normal, jamur tersebut tidak menimbulkan dampak buruk bagi kulit. Bila aktivitas kelenjar sebacea meningkat dengan menghasilkan sebum, maka jamur tersebut akan meningkat pula karena asam lemak yang menjadi makanan jamur tersebut akan meningkat pula. *Malassezia* mengonsumsi asam lemak jenuh, sedangkan asam lemak tak jenuh yang tersisa pada kulit dibiarkan. Mekanisme terjadinya ketombe dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2. 6.** Mekanisme Terjadinya Ketombe  
(Kit, 2004)

Pada gambar 2.6 terlihat bahwa koloni *Malassezia* yang meningkat karena konsumsi sebum akan mengeluarkan enzim lipase yang akan menghidrolisis trigliserida dari sebum. Asam lemak jenuh hasil hidrolisis akan dikonsumsi oleh *Malassezia* untuk tumbuh dan berkembang biak, sedangkan asam lemak tak jenuh hasil hidrolisis akan dibiarkan begitu saja. Akibatnya, akan terjadi peradangan/iritasi kulit yang akan menyebabkan sel kulit lebih cepat mati. Pada gambar 2.7 juga dapat dilihat penampakan iritasi oleh *Malassezia*.



**Gambar 2. 7.** Iritasi oleh *Malassezia* pada Kulit Kepala  
(*The Malassezia Genome Project*, 2008)

Sel kulit yang lebih cepat mati akan menumpuk dan membentuk serpihan di kulit kepala yang kemudian disebut sebagai ketombe. Begitulah seterusnya mekanisme berupa siklus terbentuknya ketombe pada kulit kepala.

### 2.1.3. Daya Tahan Tubuh

Kekebalan sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangbiakan *Malassezia* di kulit kepala. Hal ini berhubungan dengan iritasi yang disebabkan oleh adanya penetrasi asam lemak tak jenuh pada kulit kepala. Semakin rentan atau buruknya system kekebalan tubuh manusia, maka akan semakin mudah terinfeksi jamur *Malassezia*. Pada orang yang terkena AIDS, memungkinkan *Malassezia* kelebihan proliferasi (pertumbuhan) sehingga menyebabkan semakin cepatnya pelepasan sel kulit mati. Faktor fisik, gangguan nutrisi, obat, dan neurotransmitter kelainan faktor tambahan yang dapat memperparah keadaan.

## 2.2. Kosmetik Anti Ketombe

Prinsip kosmetik anti ketombe adalah untuk menurunkan kadar minyak permukaan kulit kepala atau jumlah sekresi sebum, membunuh mikroba penyebab ketombe, serta mengurangi gejala gatal dan rambut rontok. Sediaan anti ketombe dalam kosmetik biasanya disajikan dalam bentuk sediaan: shampo, *hair cream bath* atau dapat juga dalam bentuk tonik.

Adapun zat-zat yang biasanya terdapat di dalam kosmetik anti ketombe (Naturakos-BPOM, September 2009), di antaranya adalah:

a. Sulfur

Sulfur dapat digunakan sebagai anti ketombe sampai dengan kadar 10% dan dapat dikombinasi dengan asam salisilat untuk meningkatkan efek anti ketombenya.

b. Asam Salisilat

Dalam peraturan Ka Badan POM No.HK.00.05.42.1018 kadar asam salisilat dibatasi 3% untuk produk bilas dan 2% untuk produk lainnya. Asam salisilat merupakan zat yang sering ditambahkan pada produk perawatan kulit untuk perawatan jerawat dan psoriasis. Efek pada kulit sebagai keratolitik, dijadikan dasar penambahan asam salisilat pada produk sampo perawatan ketombe. Pada kulit dapat mempercepat regenerasi sel.

c. Selenium Sulfida

Selenium sulfida dengan kadar 1% dan 2,5% digunakan pada kulit kepala untuk mengontrol gejala ketombe dan *seborrheic dermatitis*. Mekanisme kerjanya sebagai anti ketombe dengan menghambat pertumbuhan sel baik yang hiperproliferatif atau normal. Selenium sulfida 1% digunakan sebagai anti ketombe, sedangkan selenium sulfida mikronisasi 0,6%. Efek samping dari penggunaan selenium sulfida adalah iritasi kulit, rambut kering atau berminyak, rambut rontok.

d. Seng Pirition

Dalam peraturan Ka Badan POM No. HK.00.05.42.1018, kadar seng pirition sebagai anti ketombe dibatasi 2% untuk produk dibilas dan 0,1% produk non bilas. Bekerja sebagai anti mitosis, bakteriostatik dan

fungistatik (*drugs*). Seng piriton merupakan anti ketombe yang efektif dan bersifat anti fungi. Efek anti ketombe berdasarkan kemampuan molekul piriton yang tak terionisasi untuk mengganggu transpor membran dengan menghambat mekanisme energi pompa proton sehingga dapat menghambat pertumbuhan jamur.

Meskipun produk kosmetik yang beredar sudah dinyatakan aman, namun penggunaan terus – menerus dalam jangka panjang, seperti saat ini ada kecenderungan penggunaan anti ketombe yang berbentuk shampo digunakan setiap hari serta kondisi pengguna yang beragam, maka kemungkinan bisa terjadi hal – hal yang tidak diinginkan yang dapat merugikan kesehatan.

Pada penggunaan anti ketombe efek samping yang mungkin terjadi adalah (Naturakos-BPOM, 2009):

1. Dermatitis yang terjadi pada kulit kepala
2. Kerusakan rambut antara lain rambut rontok, berubah warna dan patah – patah.
3. Efek samping sistemik.

Meskipun ini jarang terjadi namun dalam pemakaian jangka panjang, terus menerus dan bahkan kecenderungan penggunaan sampo anti ketombe setiap hari memungkinkan dapat terjadi efek samping yang lebih serius.

Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya bahaya terhadap penggunaan sediaan kosmetik anti ketombe di samping pembuatannya harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku, pada penandaan/ etiket harus mencantumkan beberapa peringatan perhatian untuk produk-produk yang mengandung bahan tertentu seperti pirokton olamin, selenium disulfida dan seng piriton.

### **2.3. Prinsip Dasar Fotokatalis**

Fotokatalisis merupakan suatu kombinasi antara proses fotokimia dan katalisis. Proses fotokimia adalah proses sintesis (transformasi) secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicunya (Slamet *et al.*, 2007). Sedangkan katalis adalah substansi yang dapat mempercepat jalannya reaksi dengan jalan mengubah jalur (mekanisme) reaksi tanpa ikut dikonsumsi pada reaksi tersebut.

Bahan-bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai fotokatalis ialah bahan-bahan yang memiliki celah pita energi (*band gap energy*) seperti kebanyakan logam transisi dan saat dikenai cahaya maka energi cahaya tersebut dapat mengeksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Ini terjadi jika energi cahaya yang diberikan sama atau lebih besar daripada celah pita energi dari bahan tersebut.

Pada umumnya proses fotokatalitik terbagi menjadi dua, yakni fotokatalisis homogen dan fotokatalisis heterogen. Fotokatalisis homogen adalah proses fotokatalisis dengan bantuan zat pengoksidasi seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalisis heterogen merupakan suatu teknologi yang didasarkan pada iradiasi fotokatalis semikonduktor. Fotokatalisis heterogen dapat berlangsung pada berbagai macam medium yaitu fasa gas, organik murni fasa cair, atau larutan encer.

### **2.3.1. Proses Fotokatalitik pada Bahan Semikonduktor**

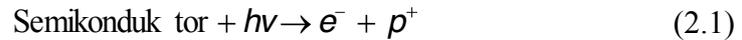
Bahan semikonduktor dapat dimanfaatkan sebagai fotokatalis karena memiliki daerah energi kosong yang disebut dengan celah pita energi (*band gap energy*), yang berada diantara batas pita valensinya. Besarnya celah pita energi ini dapat diukur dengan menggunakan panjang gelombang cahaya yang lebih baik dalam mengeksitasi elektron. Pada semikonduktor yang memiliki celah pita energi yang lebar, elektron pada pita valensi tidak bisa tereksitasi menuju pita konduksi. Akan tetapi jika diberikan suatu energi dari luar maka elektron dari pita valensi dapat mencapai pita konduksi dan akan terbentuk lubang (*holes*) sebanyak elektron yang berpindah.

Ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi reaksi fotokatalitik pada semikonduktor menyangkut struktur pita yang dimilikinya, yaitu:

1. Celah pita energi (*band gap energy*);
2. Posisi terbawah dari pita konduksi;
3. Posisi teratas dari pita valensi.

Ketika suatu katalis semikonduktor dari tipe *chalcogenide* oksida ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$ ) atau sulfida ( $\text{CdS}$ ,  $\text{ZnS}$ ) dikenai cahaya yang memiliki energi lebih besar atau sama dengan energi celah pita semikonduktor, maka akan terjadi peristiwa fotoeksitasi yaitu perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Peristiwa ini menghasilkan *hole* ( $\text{h}^+$ ) pada pita valensi. Dengan kata lain

proses fotoeksitasi menghasilkan elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi. Reaksi yang terjadi pada fenomena ini ialah (Dalrymple *et al.*, 2010):



Pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk akan menempuh beberapa jalur yaitu berekombinasi dalam partikel (*volume recombination*), berekombinasi pada permukaan partikel (*surface recombination*) atau partikel pada fasa ruah dalam waktu yang sangat singkat (nanosekon) sehingga melepaskan energi dalam bentuk panas. Reaksi kombinasi keduanya dapat ditulis menjadi:



dengan:

$N = \text{pusat netral};$

$E = \text{energi (sinar } h\nu' \leq h\nu \text{ atau panas)}$

Selain rekombinasi, masing-masing pasangan elektron ( $e^-$ ) dan *hole* ( $p^+$ ) dapat bereaksi dengan spesies donor (D) atau akseptor (A) yang teradsorb di permukaan partikel. Dengan kata lain, elektron pada pita konduksi yang mencapai permukaan mereduksi substrat (A) atau pelarut pada permukaan partikel, sedangkan *hole* pada pita valensi yang mencapai permukaan akan mengoksidasi substrat (D) baik secara langsung maupun tidak langsung (melalui pembentukan radikal hidroksil). Persamaan reaksinya ialah:



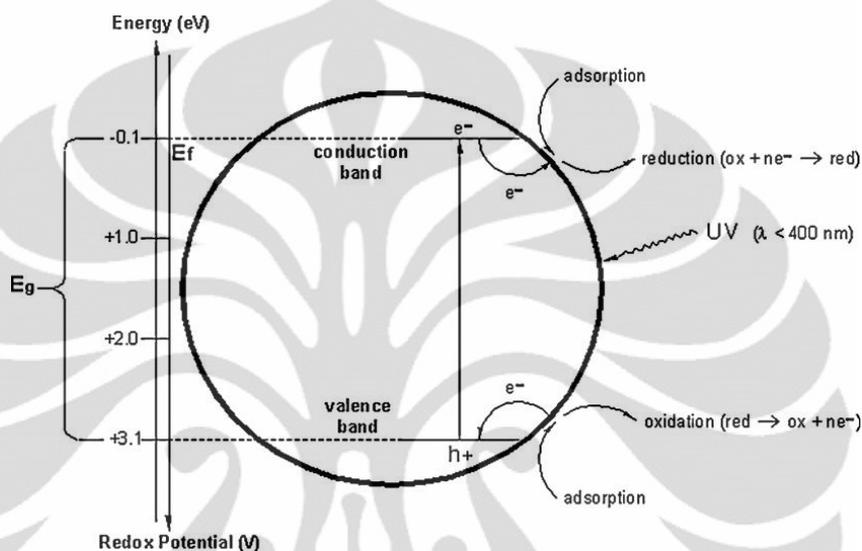
Sifat oksidator kuat yang dimiliki oleh semikonduktor akan memiliki sejumlah besar *hole* ( $h^+$ ) yang akan menyerang  $H_2O$  yang melekat pada permukaan semikonduktor sehingga akan terbentuk radikal hidroksil ( $\bullet OH$ ). Radikal ini akan meningkatkan sifat hidrofilik permukaan. Reaksi yang terjadi ialah:



Sedangkan oksigen yang ada di udara akan bertindak sebagai elektron akseptor dan membentuk ion superoksida ( $\bullet O_2^-$ ).



Selain itu, hole ( $h^+$ ), radikal hidroksil ( $\bullet OH$ ) dan ion superoksida ( $\bullet O_2^-$ ) yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk mengoksidasi kontaminan organik yang melekat di permukaan. Gambar 2.8 berikut ini merepresentasikan mekanisme reaksi fotokatalisis pada permukaan (Dalrymple *et al.*, 2010).



**Gambar 2. 8.** Mekanisme Reaksi Fotokatalisis pada Permukaan (Dalrymple *et al.*, 2010)

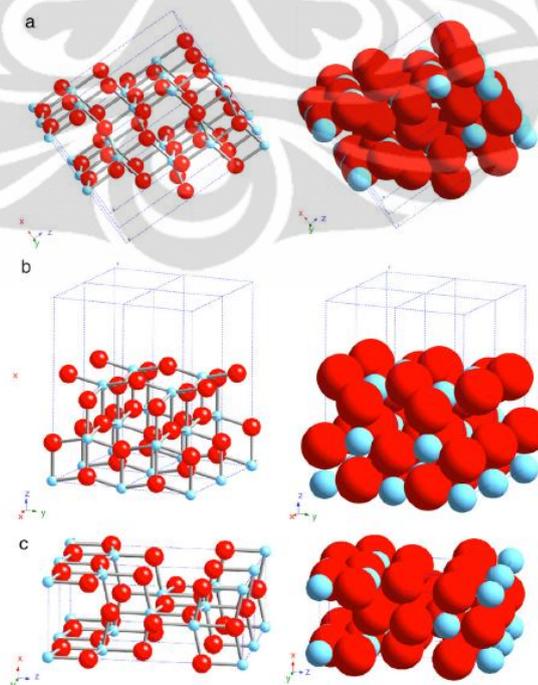
Semikonduktor yang digunakan pada penelitian ini ialah titanium dioksida ( $TiO_2$ ). Adapun pertimbangan yang digunakan dalam pemilihan katalis  $TiO_2$  ialah karena  $TiO_2$  memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang cukup baik, antara lain:

1. Mempunyai energi celah pita (*band gap*) yang sesuai untuk proses fotokatalis sehingga memudahkan terjadinya eksitasi elektron ke pita konduksi dan pembentukan *hole* pada pita valensi saat diinduksikan cahaya ultraviolet (Dalrymple *et al.*, 2010);
2. Memiliki stabilitas yang cukup tinggi (Seven *et al.*, 2004; Dalrymple *et al.*, 2010);
3. Mampu menyerap sinar UV dengan baik (Dalrymple *et al.*, 2010);
4. Tidak beracun (Sun *et al.*, 2003; Seven *et al.*, 2004; Dalrymple *et al.*, 2010);
5. Secara umum memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih tinggi dibandingkan dengan fotokatalis lain (Sun *et al.*, 2003);

6. Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi (Sun, Nakajima, & Toshiya Watabe, 2003);
7. Relatif murah (Seven *et al.*, 2004; Dalrymple *et al.*, 2010)

Titanium dioksida secara alami terdiri dari 3 bentuk kristal, yaitu *anatase*, *brookite* dan *rutile* (Fujishima *et al.*, 2008). *Anatase* merupakan bentuk alotrofik yang paling aktif dibandingkan bentuk lainnya. Secara termodinamika, bentuk *anatase* lebih stabil dan pembentukannya secara kinetik lebih baik pada suhu rendah.

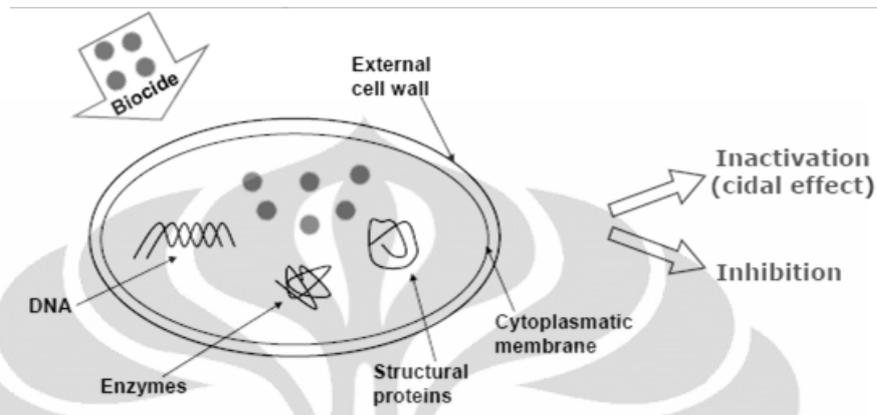
Kedua bentuk kristal  $\text{TiO}_2$  yaitu *anatase* ataupun *rutile* dapat menyerap sinar ultraviolet. Jangkauan sinar yang dapat diserap oleh *rutile* lebih besar akan tetapi bentuk *anatase* memiliki aktivitas katalitik yang lebih besar. Hal ini dikarenakan perbedaan struktur energi diantara kedua jenis kristal dimana pita konduksi dari kristal *anatase* lebih dekat dengan posisi pita valensi sehingga kekuatan reduksi dari kristal *anatase* ini menjadi lebih besar dibandingkan *rutile* (Fujishima *et al.*, 2008). Dengan adanya perbedaan posisi pita konduksi inilah maka secara keseluruhan aktivitas fotokatalitik dari kristal *anatase* lebih besar dibandingkan kristal berbentuk *rutile*. Bentuk struktur kristal *anatase* secara visual dapat dilihat pada gambar 2.9.



**Gambar 2. 9.** Struktur Kristal *Anatase*  $\text{TiO}_2$  (a) (101), (b) (100), dan (c) (001)  
(Fujishima *et al.*, 2008)

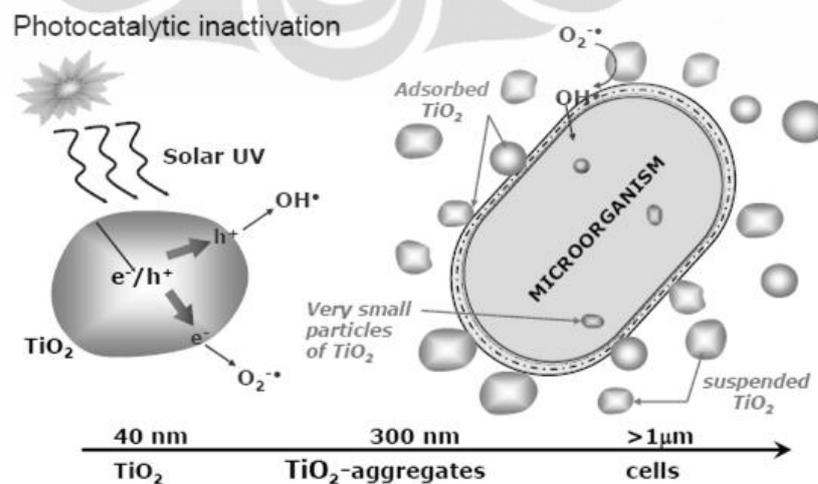
## 2.4. Mekanisme Desinfeksi Secara Fotokatalitik

Mekanisme desinfeksi pada mikroorganisme seperti bakteri dan jamur dapat dilihat pada gambar 2.10 dan 2.11 berikut ini.



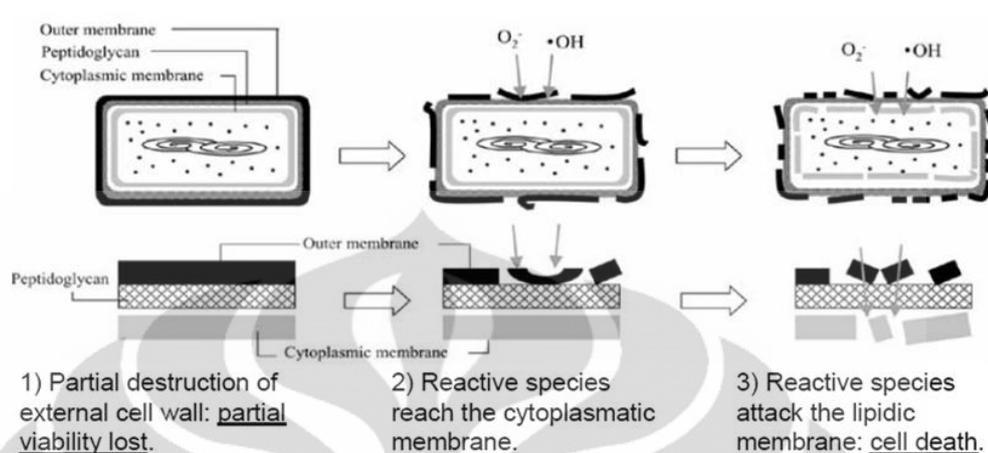
**Gambar 2. 10.** Struktur Sel Mikroorganisme  
(Bitton, 2005)

Pada gambar 2.10 dapat dilihat struktur sel dari mikroorganisme (bakteri dan jamur). Sel mikroorganisme tersebut akan dioksidasi oleh  $\text{TiO}_2$  yang akan membentuk radikal hidroksil setelah aktif karena penyerapan foton pada sinar UV ataupun sinar tampak. Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  akan merusak dinding sel dari mikroorganisme tersebut sampai ke membran sitoplasmanya. Akibatnya, terjadi kebocoran pada sel sehingga cairan sel akan keluar dari tubuh mikroorganisme. Akhirnya, mikroorganisme akan mati karena mengalami kekeringan pada selnya. Mekanisme terjadinya desinfeksi dapat dengan jelas dilihat pada gambar 2.11.



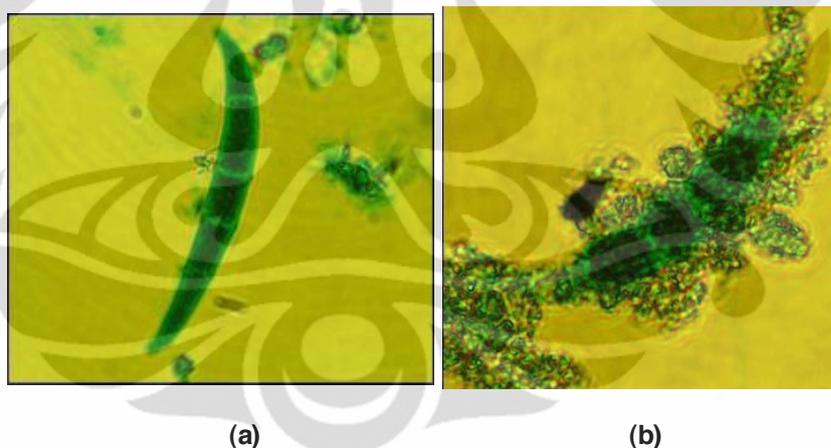
**Gambar 2. 11.** Mekanisme Desinfeksi Mikroorganisme oleh  $\text{TiO}_2$   
(Malato, 2006)

Mekanisme desinfeksi mikroorganisme secara fotokatalitik lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.12 di bawah ini.



**Gambar 2. 12.** Mekanisme Desinfeksi Mikroorganisme secara Fotokatalitik oleh  $\text{TiO}_2$  (Sunada *et al.*, 2003)

Contoh gambar perbandingan antara fisik jamur uniseluler (*yeast*) sebelum dan setelah desinfeksi menggunakan  $\text{TiO}_2$  dapat dilihat pada gambar 2.13.

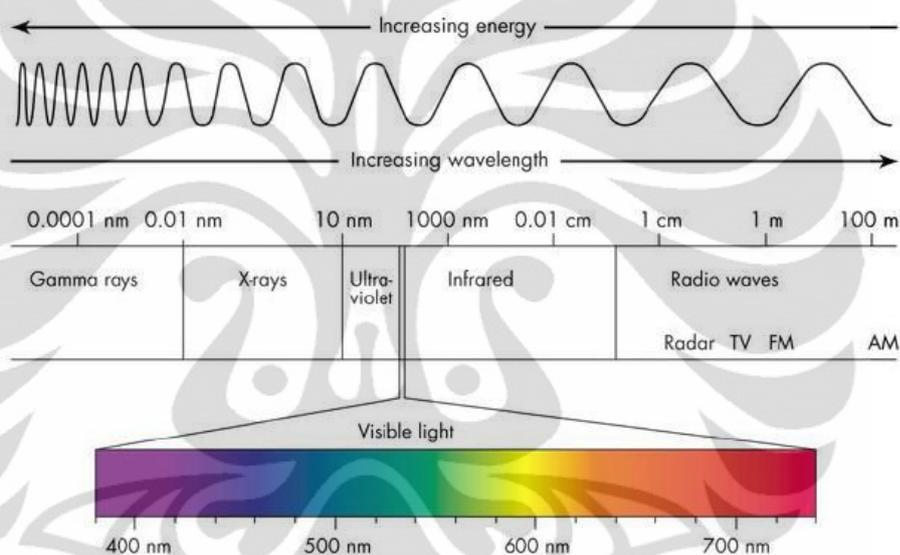


**Gambar 2. 13.** Perbandingan Fisik *Fusarium equiseti* (a) Sebelum dan (b) Setelah Desinfeksi (Sichel *et al.*, 2007)

Gambar 2.13 mengilustrasikan keadaan fisik *Fusarium equiseti* setelah kontak dengan  $\text{TiO}_2$  selama 5 (lima) jam lamanya. Di bawah sinar UV,  $\text{TiO}_2$  merusak dinding sel *Fusarium equiseti* secara fotokatalitik. Hal ini dapat terjadi juga pada *M. globosa* yang merupakan jamur uniseluler. Hal ini perlu dibuktikan dengan adanya pencitraan di bawah mikroskop.

## 2.5. Modifikasi Fotokatalis TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub>, sebagai fotokatalis, selain memiliki keunggulan seperti yang telah disebutkan sebelumnya, juga memiliki kekurangan seperti kurang aktifnya di bawah sinar tampak. Hal tersebut berhubungan dengan *band gap* dari suatu fotokatalis. Semakin besar *band gap* suatu fotokatalis, maka fotokatalis akan cenderung aktif di bawah sinar tampak dimana sinar tampak memiliki panjang gelombang > 400 nm. Panjang gelombang sinar tampak tersebut lebih panjang daripada panjang gelombang sinar UV dengan panjang gelombang < 400 nm. Spektrum elektromagnetik diilustrasikan pada gambar 2.14.



**Gambar 2.14.** Spektrum Elektromagnetik  
(Atmadja, T.A., 2010)

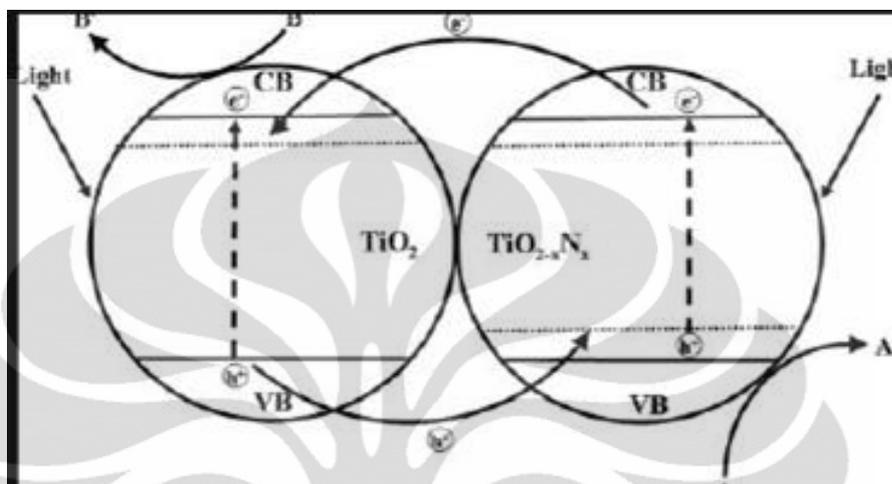
Semakin besar *band gap*, maka akan semakin mudah untuk menangkap sinar dengan gelombang yang lebih panjang. Hal ini sesuai dengan persamaan di bawah ini (Dharma dan Pital, 2009):

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.8)$$

Untuk mengatasi kekurangan tersebut, maka fotokatalis TiO<sub>2</sub> perlu didopan untuk menurunkan *band gap*-nya. Ada banyak unsur yang dapat digunakan sebagai dopan untuk menurunkan *band gap*, di antaranya C-, S-, I-, B, dan lain-lain. Akan tetapi, di antara sekian banyak unsur, nitrogen (N) paling banyak digunakan untuk meningkatkan fotoaktivitas suatu fotokatalis di bawah

sinar tampak (Y. D. Hou *et al.*, 2008). Berdasarkan keadaan tersebut, maka dipilihlah nitrogen sebagai dopan pada penelitian ini.

Menurunkan *band gap*  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan cara menaikkan pita valensi (gambar 2.15).



**Gambar 2.15.** Mekanisme Penurunan *Band Gap* Dengan Kehadiran Nitrogen pada  $\text{TiO}_2$  (In-Cheol *et al.*, 2008)

Gambar 2.15 mendemonstrasikan bagaimana nitrogen menurunkan *band gap*  $\text{TiO}_2$  sehingga dapat meningkatkan aktivitas fotokatalisisnya di bawah sinar tampak. Orbital subkulit  $2p$  pada nitrogen akan bergabung dengan orbital subkulit  $2p$  pada oksigen yang menyebabkan penurunan *band gap* dengan menaikkan pita valensi dengan membentuk *mid gap* (Zhang *et al.*, 2010). Dengan semakin dekatnya jarak antara pita valensi dengan pita konduksi, maka elektron akan lebih mudah tereksitasi ke pita konduksi. Dengan kata lain, energi yang dibutuhkan elektron untuk tereksitasi semakin kecil. Panjang gelombang  $> 400$  nm, dengan energi yang lebih kecil dari sinar UV, dapat mengeksitasi elektron tersebut.

Zhang *et al.* mengungkapkan bahwa *mid gap* yang terbentuk di atas pita valensi akan menurunkan kemampuan oksidasi dari *hole* jika dibandingkan dengan  $\text{TiO}_2$  murni. Adapun beberapa permasalahan yang sering terjadi pada pendopanan nitrogen ke dalam  $\text{TiO}_2$ , yaitu:

1. Agak sulitnya untuk mendapatkan  $\text{TiO}_2$  menggunakan dopan nitrogen dalam konsentrasi banyak;
2. Pendopanan nitrogen ke dalam kisi kristal  $\text{TiO}_2$  biasanya menghasilkan *oxygen vacancy* dalam jumlah besar. Kerusakan ini dapat berperan sebagai

pusat rekombinasi yang mengakibatkan turunnya efisiensi fotokatalisis. Oleh karena itu, dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni, kecepatan rekombinasi TiO<sub>2</sub> dopan nitrogen lebih cepat;

Masalah-masalah di atas kemudian menjadi inspirasi untuk dilakukannya modifikasi N-TiO<sub>2</sub> dengan penambahan metal oksida dan nonmetal sebagai *co-dopant*. Beberapa peneliti terdahulu telah menggunakan nitrogen sebagai dopan dari TiO<sub>2</sub> yang diberi *co-dopant* logam, disajikan pada tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2. 1.** Aplikasi Fotokatalis Komposit N-TiO<sub>2</sub>

| Peneliti                                  | Target Didegradasi      | Fotokatalis Komposit   |
|---|-------------------------|------------------------|
| C. C. Pan and J. C. S. Wu (2006)          | Isopropyl alcohol (IPA) | Cr-N-TiO <sub>2</sub>  |
| K. Obata, H. Irie and K. Hashimoto (2007) | Formaldehida            | Ni-N-TiO <sub>2</sub>  |
| H. Hao and J. Zhang (2009)                | Larutan dichlorophenol  | Fe-N-TiO <sub>2</sub>  |
| Dang <i>et al.</i> (2010)                 | <i>Methylene blue</i>   | Si -N-TiO <sub>2</sub> |

Zhang *et al.*, 2010

Beberapa peneliti di atas menggunakan logam sebagai *co-dopant* dari TiO<sub>2</sub> agar memiliki responsivitas yang tinggi di bawah sinar tampak (tabel 2.1). Penambahan oksida logam, seperti SiO<sub>2</sub>, ZrO atau Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan lain-lain, juga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan stabilitas termal untuk pembentukan kristal dari *anatase* ke *rutile* dan fotoaktivitas dari TiO<sub>2</sub> (Y. D. Hou *et al.*, 2008; Dang *et al.*, 2010). Di antara logam oksida tersebut, SiO<sub>2</sub> merupakan salah satu alternatif yang banyak digunakan sebagai support fotokatalis dengan sifat hidrofiliknya yang tinggi sehingga semakin banyak molekul air yang teradsorp ke permukaan fotokatalis. Dengan demikian, semakin banyak radikal OH yang terbentuk untuk mengoksidasi dinding sel *M. globosa*.

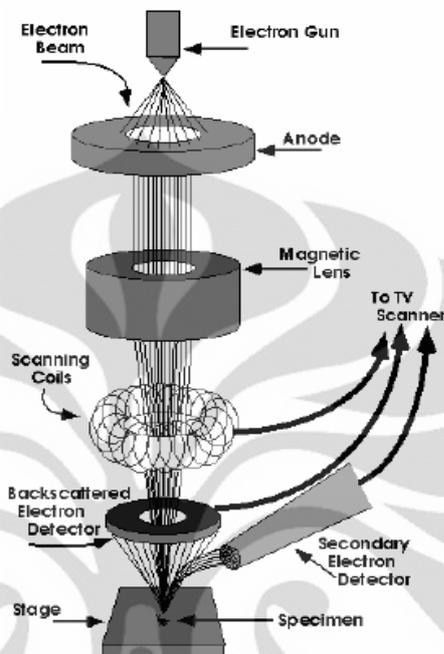
## 2.6. Karakterisasi Katalis

Tahap karakterisasi bertujuan untuk mengetahui data-data spesifik katalis yang akan digunakan untuk menganalisis struktur fotokatalis yang berhasil disintesis serta aktivitas fotokatalitik pada katalis.

### 2.6.1. Karakterisasi EDX (*Energy Dispersive X-ray*)

Karakterisasi EDX dilakukan dengan SEM. SEM merupakan pencitraan material dengan menggunakan prinsip mikroskopi. Mirip dengan mikroskop optik,

namun tidak menggunakan cahaya, SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya. Konfigurasi SEM didemonstrasikan pada gambar 2.16.



**Gambar 2.16.** Diagram *Scanning Electron Microscope*  
(*Scanning Electron Microscope*, n.d.)

Elektron diemisikan dari katoda (*electron gun*) melalui efek foto listrik dan dipercepat menuju anoda. Filamen yang digunakan biasanya adalah tungsten atau lanthanum hexaboride ( $\text{LaB}_6$ ). *Scanning coil*, akan mendefleksikan berkas elektron menjadi sekumpulan *array* (berkas yang lebih kecil), disebut scanning beam dan lensa objektif (magnetik) akan memfokuskannya pada permukaan sampel (Sartono, 2006).

Elektron kehilangan energi pada saat tumbukan dengan atom material, akibat scattering dan absorpsi pada daerah interaksi dengan kedalaman 100 nm sampai 2  $\mu\text{m}$ . Ini membuat material akan meradiasikan emisi meliputi sinar-X, elektron Auger, *back-scattered electron* dan *secondary electron*. Pada SEM, sinyal yang diolah merupakan hasil deteksi dari *secondary electron* yang merupakan elektron yang berpindah dari permukaan sampel.

SEM dipakai untuk mengetahui struktur mikro suatu material meliputi tekstur, morfologi, komposisi dan informasi kristalografi permukaan partikel.

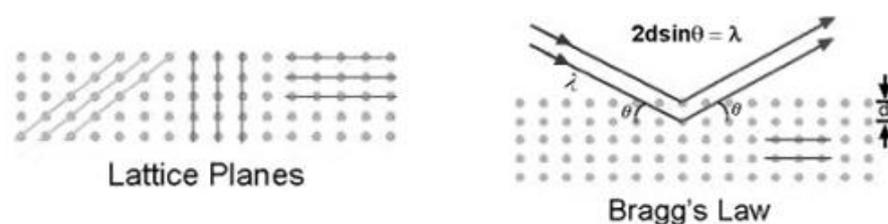
Morfologi yang diamati oleh SEM berupa bentuk, ukuran dan susunan partikel. EDX (*Energy Dispersive X-ray*), merupakan karakterisasi material menggunakan sinar-x yang diemisikan ketika material mengalami tumbukan dengan elektron. Sinar-x di emisikan dari transisi elektron dari lapisan kulit atom, karena itu tingkat energinya tergantung dari tingkatan energi kulit atom. Setiap elemen di dalam tabel periodik atom memiliki susunan elektronik yang unik, sehingga akan memancarkan sinar-x yang unik pula. Dengan mendeteksi tingkat energi yang dipancarkan dari sinar-x dan intensitasnya, maka dapat diketahui atom-atom penyusun material dan persentase masanya (Sartono, 2006).

EDX (*Energy Dispersive X-ray*) merupakan karakterisasi material menggunakan sinar-x yang diemisikan ketika material mengalami tumbukan dengan elektron. Sinar-x di emisikan dari transisi elektron dari lapisan kulit atom, karena itu tingkat energinya tergantung dari tingkatan energi kulit atom. Setiap elemen di dalam tabel periodik atom memiliki susunan elektronik yang unik, sehingga akan memancarkan sinar-x yang unik pula. Dengan mendeteksi tingkat energi yang dipancarkan dari sinar-x dan intensitasnya, maka dapat diketahui atom-atom penyusun material dan persentase masanya (Sartono, 2006).

### 2.6.2. Karaterisasi X-ray Diffraction (XRD)

*X-rays* (sinar-X) adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sebanding dengan ukuran atom, sehingga dapat digunakan untuk menyelidiki susunan struktur dari atom dan molekul pada berbagai jenis material (*Introduction to X-ray Diffraction*, n.d).

*Peak* pada pola difraksi sinar-X berhubungan langsung dengan jarak antar atom. Berkas sinar-X masuk berinteraksi dengan atom yang tersusun dalam urutan periodik seperti pada gambar 2.17.



**Gambar 2. 17.** Sinar-X yang Masuk dalam Susunan Atom  
(*Introduction to X-ray Diffraction*, n.d)

Pada posisi tertentu bidang geometri dengan jarak antar bidang  $d$ , kondisi untuk difraksi (*peak*) dapat ditulis sebagai persamaan yang disebut hukum Bragg (*Introduction to X-ray Diffraction*, n.d):

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.9)$$

dengan :

$\lambda$  = panjang gelombang sinar  $x$

$\theta$  = sudut pembauran

$n$  = urutan peak difraksi

Karakterisasi *X-ray diffraction* (XRD) dapat memberikan informasi karakteristik struktur material dalam fasa kristal dan amorfnya. Dalam karakterisasi lapisan film  $\text{TiO}_2$ , XRD digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan bentuk kristal *rutile* dan *anatase* (Gunlazuardi, 2001). Berdasarkan data intensitas *X-Ray* pada *peak rutile* dan *anatase* yang dihasilkan XRD, dapat diperoleh persentase *rutile* berdasarkan persamaan:

$$X = \left( 1 + \frac{0,8 I_A}{I_R} \right)^{-1} \quad (2.10)$$

dengan :

$X$  = fraksi berat rutil dalam serbuk katalis

$I_A$  dan  $I_R$  = intensitas *X-Ray* pada puncak *anatase* dan *rutile* (kcps)

Ukuran kristal dapat diukur dengan persamaan:

$$L = \left( \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \right) \quad (2.11)$$

dengan :

$L$  = ukuran kristal (nm)

$\lambda$  = panjang gelombang radiasi sinar *X-Ray* ( $\text{Cu K}\alpha = 0.154118 \text{ nm}$ )

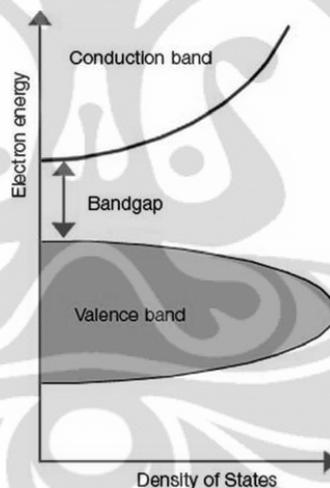
$K = 0.89$

$\beta$  = lebar dari setengah puncak gelombang tertinggi

$\theta$  = sudut pengukuran (sudut difraksi)

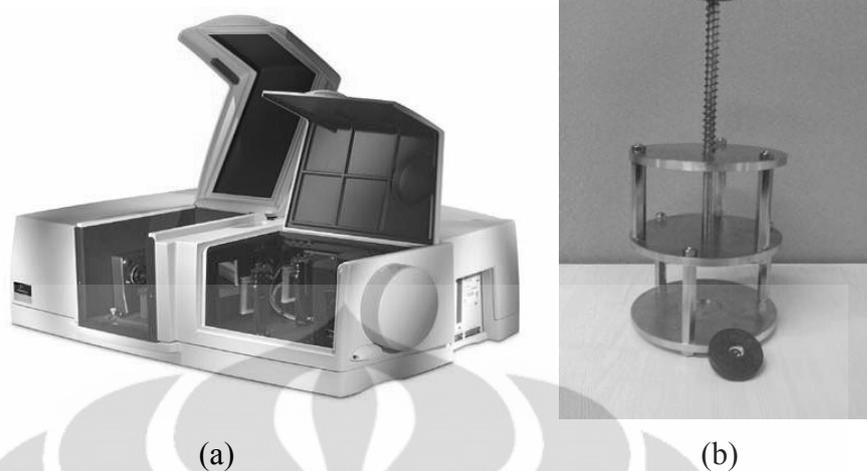
### 2.6.3. Karakterisasi *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS)

Bahan semikonduktor, salah satu bahan yang digunakan sebagai katalis dalam proses fotokatalitik, memiliki dua buah pita utama yaitu pita valensi dan pita konduksi. Pita yang lebih rendah, yaitu pita valensi, memiliki tingkat energi yang diisi oleh elektron yang dipisahkan oleh energi  $E_R$  dengan pita kedua yang ada di atasnya. Pita kedua ini kosong dan berada pada tingkat yang lebih tinggi yang disebut pita konduksi karena elektron dari pita ini cukup bebas untuk berpindah dengan bantuan elektrik yaitu konduksi. Diantara keduanya terdapat celah energi kosong (*void energy region*) yang disebut celah pita atau *band gap*, dimana tidak tersedia level-level energi untuk mempromosikan rekombinasi elektron dan *hole* yang diproduksi oleh suatu fotoaktivasi dalam bahan semikonduktor (Dharma dan Pital, 2009). Gambar 2.18 berikut ini mengilustrasikan sebuah *band gap* pada sebuah bahan semikonduktor.



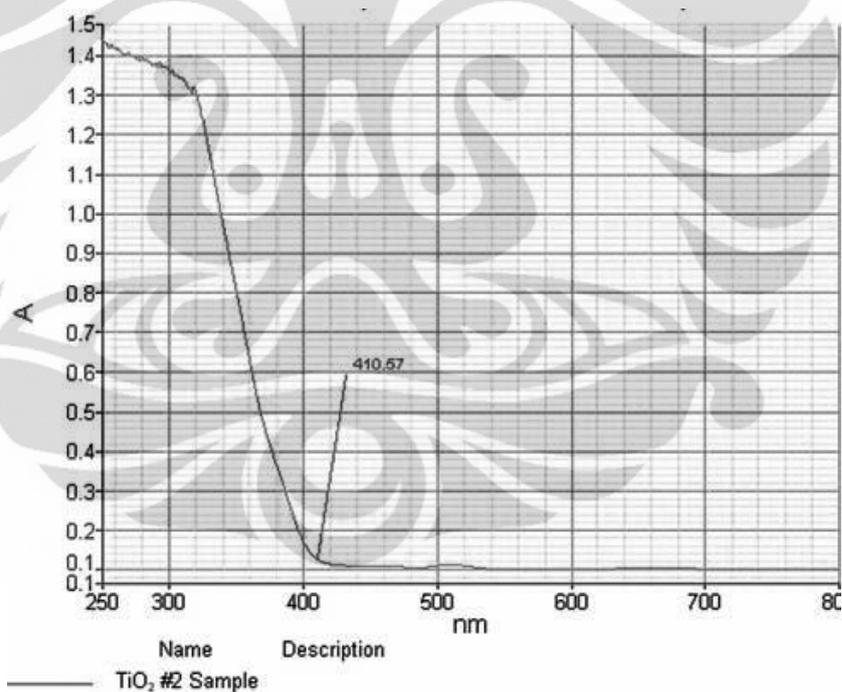
**Gambar 2.18.** Ilustrasi Mengenai *Band Gap* pada Semikonduktor  
(Dharma dan Pital, 2009)

Penentuan nilai energi *band gap* dari fotokatalis ini dilakukan menggunakan spektrofotometer tipe CARY 2415 UV/VIS NIR *Spectrophotometer* yang dilengkapi dengan *sphere* yang terintegrasi. Berikut ini merupakan gambar alat UV/ Vis *diffuse reflectance spectroscopy* (DRS) (a) dengan *sample holder* (b) sebagai tempat sampel yang ditembak dengan sinar UV:



**Gambar 2. 19.** (a) Alat Uji DRS dengan (b) *Sample Holder*  
(Dharma dan Pisal, 2009)

Setelah sampel diukur, maka akan didapat data berupa absorbansi untuk tiap panjang gelombang. Contoh dari grafiknya diperlihatkan pada gambar 2.20.



**Gambar 2. 20.** Grafik Panjang Gelombang versus Absorbansi pada Karakterisasi UVvis  
(Dharma dan Pisal, 2009)

Dari grafik tersebut dapat ditentukan panjang gelombang dimana absorbansi menunjukkan nilai minimum sesaat setelah belokan pada kurva (*strong cut off*). Panjang gelombang tersebut merupakan hasil dari ekstrapolasi daerah liniernya. Panjang gelombang tersebut dapat digunakan untuk menghitung energi *band gap*.

Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.8 (Dharma dan Pital, 2009):

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.8)$$

dengan:

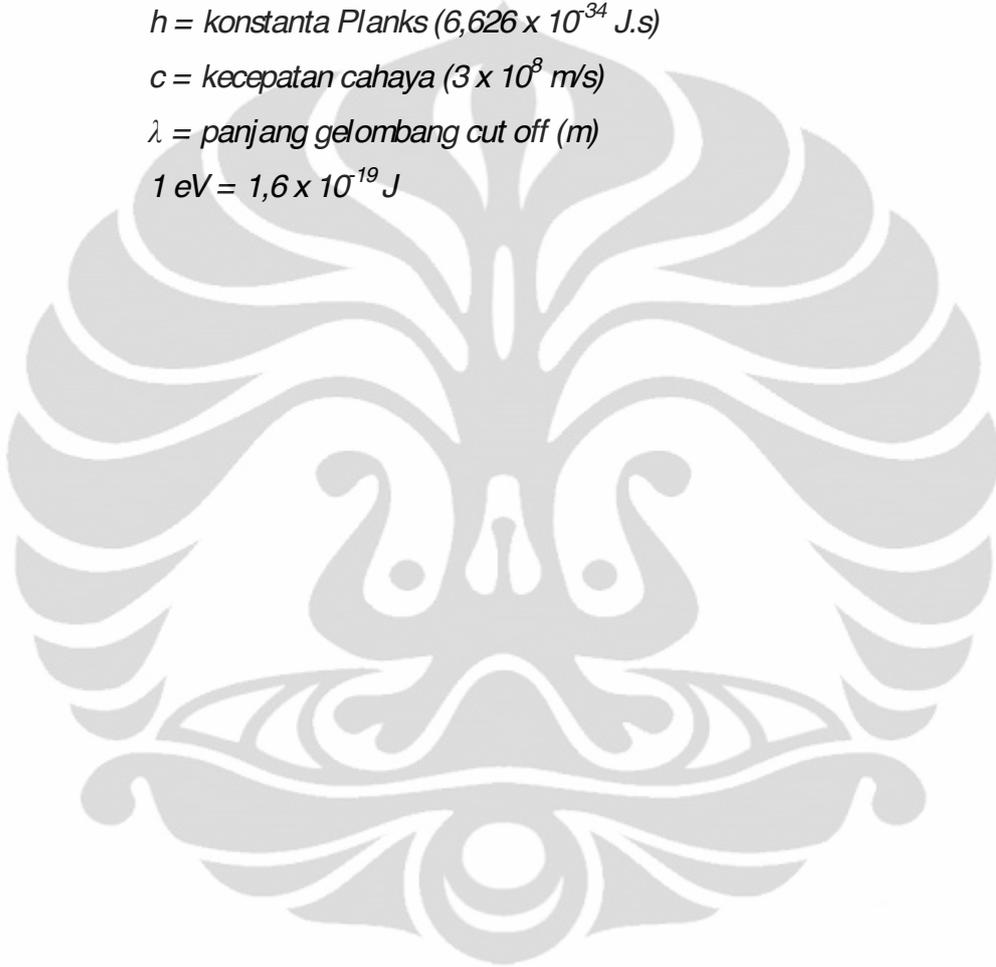
*E* = energi band gap (Joule atau eV)

*h* = konstanta Planks ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s)

*c* = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\lambda$  = panjang gelombang cut off (m)

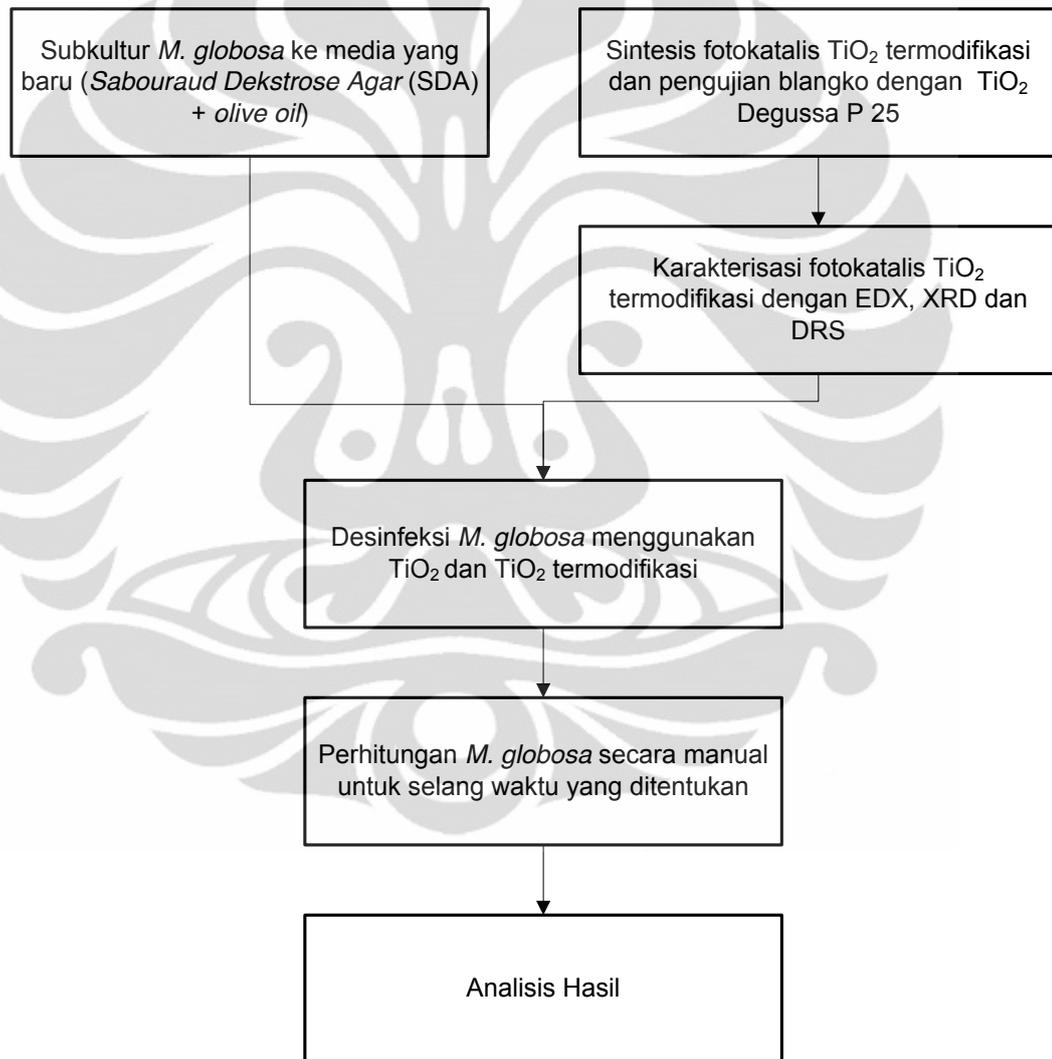
1 eV =  $1,6 \times 10^{-19}$  J



## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

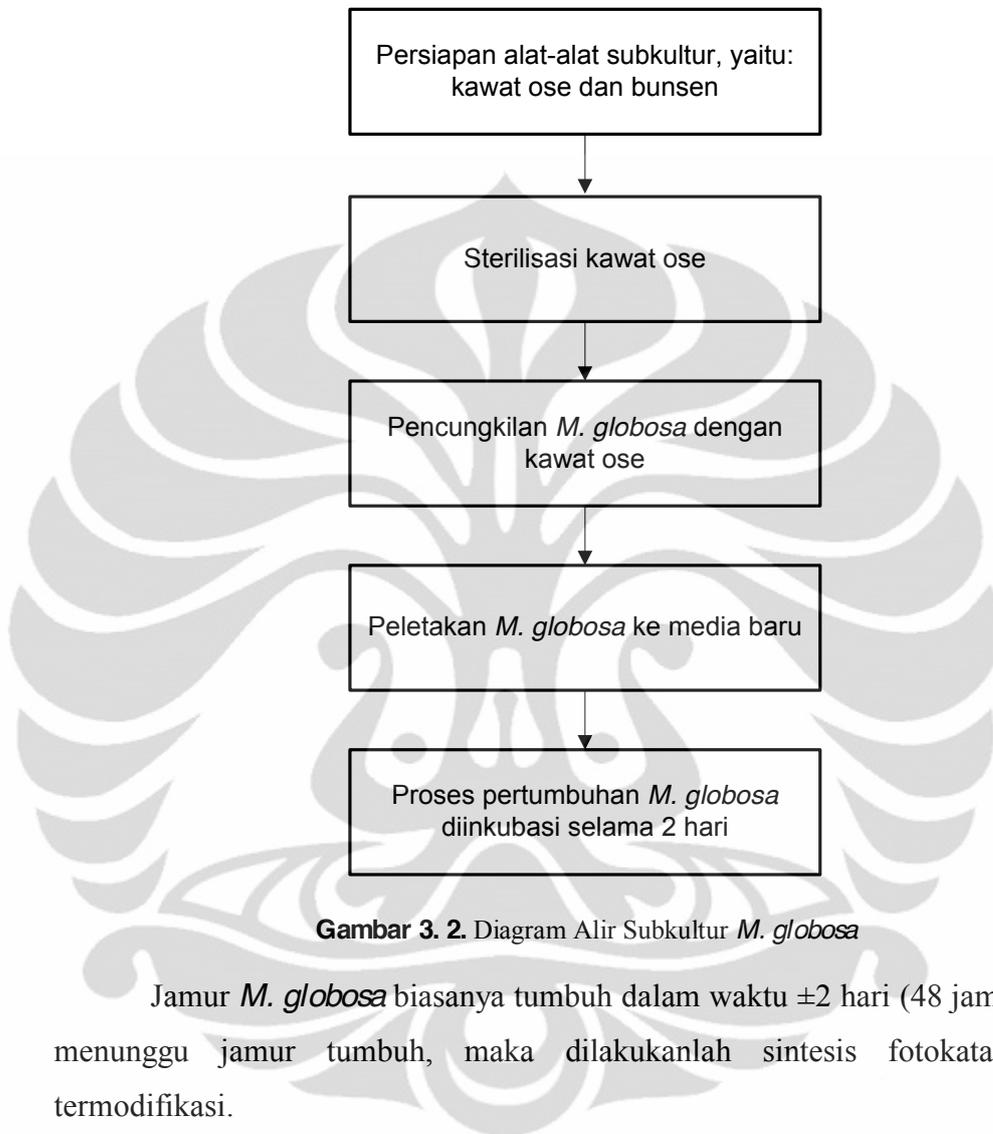
Secara garis besar, penelitian ini terdiri dari tiga tahapan (kegiatan) utama, yaitu subkultur *M. globosa*, sintesis fotokatalis TiO<sub>2</sub> termodifikasi, dan desinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik. Diagram alir penelitian secara garis besar dapat dilihat pada gambar 3.1.



**Gambar 3. 1.** Diagram Alir Penelitian secara Garis Besar

### 3.1.1. Diagram Alir Subkultur *M. globosa*

Diagram alir subkultur *M. globosa* adalah sebagai berikut (Gambar 3.2):

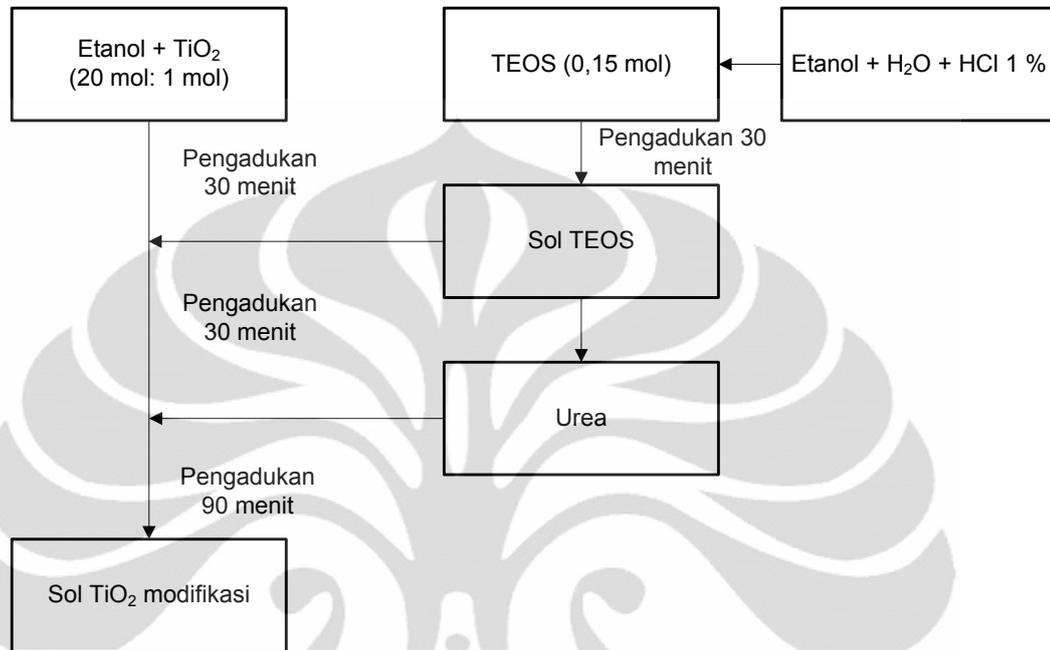


**Gambar 3. 2.** Diagram Alir Subkultur *M. globosa*

Jamur *M. globosa* biasanya tumbuh dalam waktu  $\pm 2$  hari (48 jam). Sambil menunggu jamur tumbuh, maka dilakukanlah sintesis fotokatalis  $\text{TiO}_2$  termodifikasi.

### 3.1.2. Diagram Alir Sintesis Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

Diagram alir pembuatan TiO<sub>2</sub> dopan nitrogen dengan *support* SiO<sub>2</sub> (Dang *et al.*, 2010). Prosedur lengkapnya dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut:

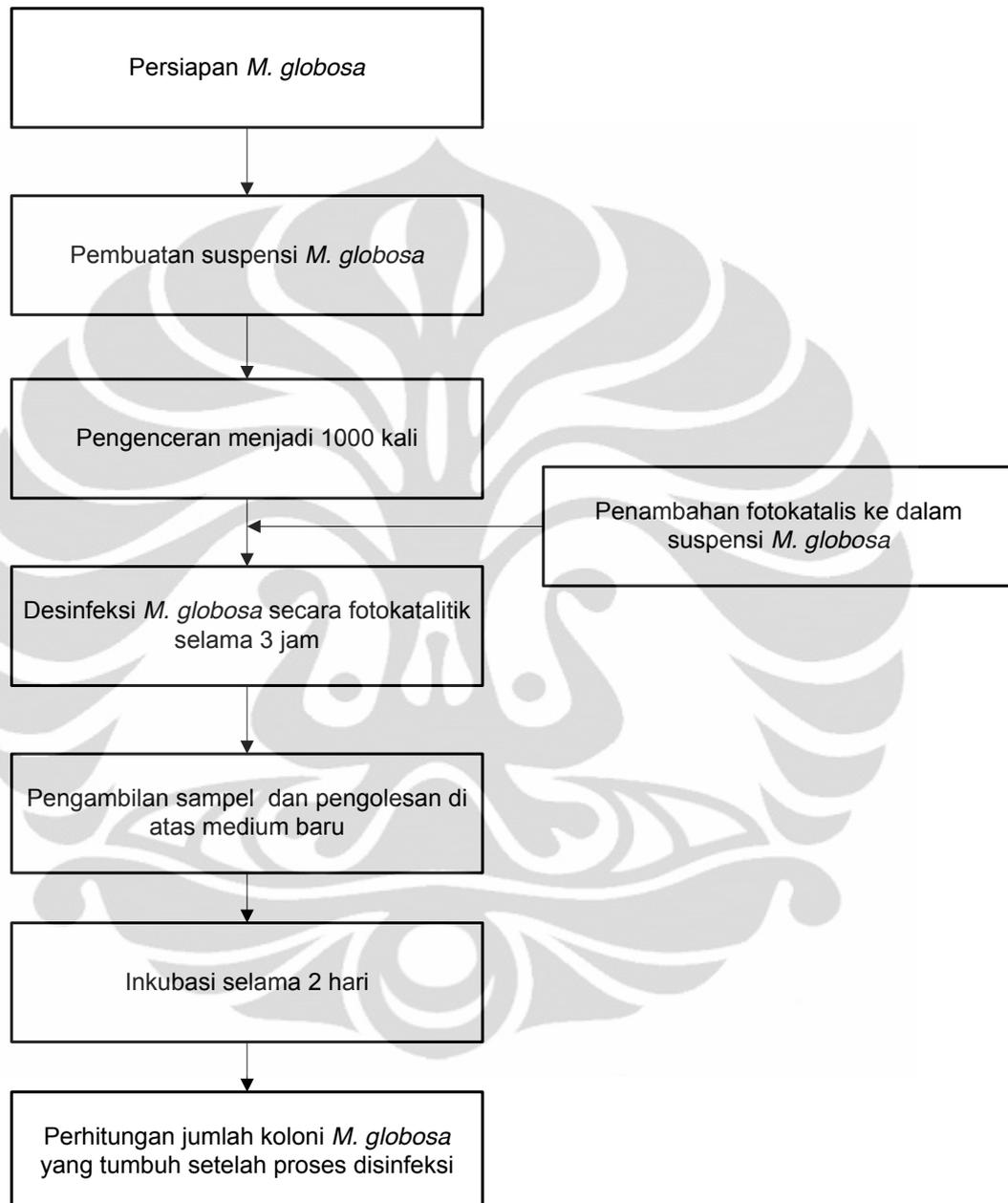


**Gambar 3. 3.** Diagram Alir Pembuatan TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

Setelah selesai dibuat, kemudian fotokatalis TiO<sub>2</sub> termodifikasi digunakan untuk mendesinfeksi *M. globosa*.

### 3.1.3. Diagram Alir Desinfeksi *M. globosa*

Diagram alir desinfeksi jamur *M. globosa* dapat dilihat pada gambar 3.4 di bawah ini:



**Gambar 3. 4.** Diagram Alir Desinfeksi *M. globosa*

Setiap perlakuan terhadap sampel akan dibuat kontrol yang akan digunakan sebagai pembanding dengan hasil desinfeksi.

### 3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikologi, Departemen Parasitologi FKUI. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan TiO<sub>2</sub> termodifikasi di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA), Departemen Teknik Kimia FTUI. Fotokatalis hasil sintesis dikarakterisasi EDX, XRD, dan DRS. Karakterisasi EDX dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material, FTUI. Karakterisasi fotokatalis XRD dan DRS masing-masing dilaksanakan di Lemigas di Departemen Kimia, FMIPA UI. Setelah jamur dan fotokatalis siap digunakan, maka akan dilakukan pengujian berupa desinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik dengan TiO<sub>2</sub> termodifikasi di Laboratorium Mikologi, Departemen Parasitologi FKUI.

### 3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan penelitian akan dijabarkan berdasarkan jenis aktivitas penelitiannya. Berikut ini adalah peralatan yang digunakan dalam penelitian berdasarkan aktivitas penelitiannya.

#### 3.3.1. Peralatan Subkultur *M. globosa*

Berikut ini adalah tabel kebutuhan alat pada saat subkultur *M. globosa*, yaitu:

**Tabel 3. 1.** Daftar Peralatan Subkultur *M. globosa*

| No. | Nama Alat  | Peranan  | Jumlah   |
|-----|--|--|----------|
| 1.  | Kawat ose  | Mengambil jamur yang akan disubkultur  | 1 buah   |
| 2.  | Tabung reaksi yang berisi <i>Sabouraud Dekstrore Agar</i> (SDA) + <i>olive oil</i> | Sebagai medium bagi jamur yang disubkultur                                   | 1 buah   |
| 3.  | Pipet penghisap (P 100 dan P 1000)   | Mengambil suspensi jamur yang diencerkan                                     | 1 buah   |
| 4.  | Bunsen   | Membakar kawat ose dan tabung pada saat proses subkultur supaya tetap steril | 1 buah   |
| 5.  | Sarung tangan  | Menghindari kontak langsung antara bahan berbahaya dengan tangan             | 1 pasang |
| 6.  | Masker   | Melindungi pernapasan  | 1 buah   |

### 3.3.2. Peralatan Sintesis Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

Berikut ini adalah tabel kebutuhan alat pada saat sintesis fotokatalis TiO<sub>2</sub> termodifikasi, yaitu:

**Tabel 3. 2.** Daftar Peralatan Sintesis Fotokatalis

| No. | Nama Alat                                     | Peranan  | Jumlah   |
|-----|---|--|----------|
| 1.  | <i>Beaker glass</i> 10 mL, 100 mL, dan 200 mL | Wadah bahan kimia untuk sintesis                                 | 1 buah   |
| 2.  | Erlenmeyer 100 mL                             | Wadah mencampur bahan kimia                                      | 1 buah   |
| 3.  | Sonikator                                     | Menghomogenkan campuran dan menanokan partikel                   | 1 unit   |
| 4.  | Pipet tetes                                   | Mengambil bahan dalam jumlah yang sangat sedikit                 | 3 buah   |
| 5.  | Pengaduk spatula dan kaca                     | Mengaduk suspensi  | 2 buah   |
| 6.  | <i>Magnetic stirrer</i>                       | Menghomogenkan campuran dan memanaskan                           | 1 unit   |
| 7.  | Sarung tangan                                 | Menghindari kontak langsung antara bahan berbahaya dengan tangan | 1 pasang |
| 8.  | Masker  | Melindungi pernapasan  | 1 buah   |

### 3.3.3. Peralatan Desinfeksi *M. globosa*

Berikut ini adalah tabel kebutuhan alat pada saat desinfeksi *M. globosa*, yaitu:

**Tabel 3. 3.** Daftar Peralatan Desinfeksi *M. globosa*

| No. | Nama Alat                                  | Peranan  | Jumlah |
|-----|--|--|--------|
| 1.  | <i>Beaker glass</i> 100 mL                 | Sebagai reaktor tempat kontak antara foton, fotokatalis, dan <i>M. globosa</i> | 1 buah |
| 2.  | Tabung <i>conical</i>                      | Wadah pengenceran suspensi <i>M. globosa</i> 10 kali                           | 2 buah |
| 3.  | Lampu pijar 8 Watt dan lampu UV 9 Watt     | Sumber foton   | 1 buah |
| 4.  | Rumah lampu dan kabel listrik              | Mendukung lampu agar berfungsi   | 1 unit |
| 5.  | <i>Transfer pipette</i> (P 100 dan P 1000) | Mengambil suspensi jamur yang diencerkan                                       | 1 buah |
| 6.  | <i>Stopwatch</i>                           | Menghitung waktu desinfeksi  | 1 unit |
| 7.  | <i>Magnetic stirrer</i>                    | Menghomogenkan suspensi dan memanaskan   | 1 unit |

|     |                |  |          |
|-----|----------------|--|----------|
| 8.  | Aluminium foil | Sebagai reflektor fotoreaktor                                    | 2 kotak  |
| 9.  | Sarung tangan  | Menghindari kontak langsung antara bahan berbahaya dengan tangan | 1 pasang |
| 10. | Masker         | Melindungi pernapasan  | 3 buah   |

### 3.4. Bahan-bahan Penelitian

Bahan yang diperlukan pada penelitian akan dijabarkan berdasarkan jenis aktivitas penelitiannya, sama seperti peralatan penelitian. Berikut ini adalah penjabaran bahan-bahan penelitian.

#### 3.4.1. Bahan Subkultur *M. globosa*

Bahan yang diperlukan pada subkultur *M. globosa* adalah sebagai berikut:

**Tabel 3. 4.** Daftar Bahan Subkultur *M. globosa*

| No. | Nama Bahan  | Wujud           | Peranan  | Jumlah   |
|-----|---|-----------------|--|----------|
| 1.  | <i>Sabouraud</i><br><i>Dekstrose Agar</i><br>(SDA) + <i>olive oil</i> | Agar/ gel       | Sebagai medium <i>M. globosa</i> yang akan disubkultur     | 1 buah   |
| 2.  | <i>Malassezia globosa</i>   | Koloni/ padatan | Sebagai sampel/ target desinfeksi (jamur penyebab ketombe) | 1 tabung |

#### 3.4.2. Bahan Sintesis Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

Bahan yang diperlukan pada sintesis TiO<sub>2</sub> adalah termodifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3. 5.** Daftar Bahan Sintesis Fotokatalis

| No. | Nama Bahan                   | Wujud           | Peranan  | Jumlah |
|-----|------------------------------|-----------------|--|--------|
| 1.  | Etanol absolut               | Cair            | Sebagai pelarut TiO <sub>2</sub> dan TEOS  | 100 mL |
| 2.  | TiO <sub>2</sub> Degussa P25 | Serbuk/ padatan | Sebagai fotokatalis pada pengujian blangko dan yang akan dimodifikasi dengan penambahan nitrogen | 5 gr   |
| 3.  | TEOS                         | Cair            | Sebagai sumber silika (SiO <sub>2</sub> )  | 50 mL  |
| 4.  | HCl                          | Cair            | Penjaga pH   | 20 mL  |
| 5.  | Urea                         | Padatan         | Sebagai sumber nitrogen  | 100 gr |
| 6.  | Aquadest                     | Cair            | Pelarut dan penghidrolisis TEOS  | 500 mL |

### 3.4.3. Bahan Desinfeksi *M. globosa*

Bahan yang diperlukan pada desinfeksi *M. globosa* adalah sebagai berikut:

**Tabel 3. 6.** Daftar Bahan Desinfeksi *M. globosa*

| No. | Nama Bahan   | Wujud              | Peranan  | Jumlah   |
|-----|--|--------------------|--|----------|
| 1.  | <i>Malassezia globosa</i>                                | Koloni/<br>padatan | Sebagai sampel/ target desinfeksi (jamur penyebab ketombe)                                       | 1 tabung |
| 2.  | TiO <sub>2</sub> Degussa P25                             | Serbuk/<br>padatan | Sebagai fotokatalis pada pengujian blangko dan yang akan dimodifikasi dengan penambahan nitrogen | 10 gr    |
| 3.  | Fotokatalis  | Cair               | Sebagai zat aktif disinfektan  | 50 mL    |
| 4.  | <i>Sabouraud Dekstrose Agar</i> (SDA) + <i>olive oil</i> | Agar/ gel          | Sebagai medium <i>M. globosa</i> yang akan disubkultur   | 1 buah   |
| 5.  | Aquadest   | Cair               | Pelarut  | 120 mL   |

### 3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dibagi menjadi empat bagian, yaitu: Prosedur subkultur *M. globosa*, prosedur sintesis TiO<sub>2</sub> termodifikasi, prosedur desinfeksi *M. globosa*, dan karakterisasi fotokatalis TiO<sub>2</sub> termodifikasi. Berikut ini akan dijelaskan prosedur untuk tiap kegiatan dengan rinci.

#### 3.5.1. Prosedur Subkultur *M. globosa*

1. *M. globosa* disiapkan beserta medium berupa *Sabouraud Dekstrose Agar* (SDA) + *olive oil* yang telah dibeli di Departemen Parasitologi, FKUI;
2. Medium yang baru disiapkan untuk subkultur *M. globosa*;
3. Kawat ose dibakar di atas bunsen sampai kawat berwarna kemerahan;
4. Kawat panas diletakkan ke atas medium baru untuk menjaga agar medium tetap steril;
5. Kawat ose dipanaskan untuk mengambil jamur *M. globosa* yang akan dipindahkan ke medium baru;
6. *M. globosa* dipindahkan dari medium yang lama ke medium baru dengan menggunakan kawat ose yang telah steril; dan
7. *M. globosa* diinkubasi selama 2 hari.

### 3.5.2. Prosedur Sintesis Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

1. 5 gr serbuk TiO<sub>2</sub> Degussa P25 dilarutkan ke dalam 70 mL etanol absolut dengan ultrasonikasi selama 10 menit;
2. Air 10 mL dan etanol 10 mL dicampurkan ke dalam erlenmeyer. HCl 2 M dicampurkan setetes demi setetes hingga pH mencapai 2.
3. TEOS dimasukkan sebanyak 2 mL ke dalam campuran dengan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit sampai terbentuk sol TEOS;
4. Sol TEOS yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam suspensi TiO<sub>2</sub> pada prosedur (1) dengan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit;
5. Urea ditambahkan ke dalam campuran dengan tetap diaduk selama 60 menit dengan *magnetic stirrer*;
6. Setelah urea dimasukkan, maka dikalsinasi sampai suhu 500 °C selama 60 menit;
7. TiO<sub>2</sub> termodifikasi didinginkan dengan membiarkannya selama 10 menit; dan
8. Serbuk fotokatalis dihaluskan.

### 3.5.3. Prosedur Desinfeksi *M. globosa*

1. *M. globosa* hasil subkultur (umur 2 hari) dan fotokatalis disiapkan;
2. *M. globosa* dimasukkan ke dalam wadah yang berisi aquadest 1 mL. Kemudian suspensi dihomogenkan dengan *vortex* selama ± 2 menit;
3. Suspensi diencerkan 1000 kali dengan pengambilan 1 mL suspensi menggunakan *transfer pipette* P 1000 dan dimasukkan ke dalam tabung *conical* 50 mL yang berisi aquadest sebanyak 9 mL;
4. Suspensi dihomogenkan menggunakan *vortex* selama ± 30 detik;
5. Suspensi diambil 0,5 mL dan dimasukkan ke dalam 49,5 mL aquadest/ fotokatalis;
6. Suspensi fotokatalis diaduk dengan *M. globosa* dengan *magnetic stirrer* selama 3 jam;

7. Sampel diambil sebanyak 0,3 mL menggunakan *transfer pipette* P 1000 secara berkala dengan variasi waktu 5 menit, 10 menit, 20 menit, 30 menit, 60 menit, 120 menit, dan 180 menit;
8. Sampel dioleskan ke atas media baru dan disimpan di dalam ruangan kedap cahaya selama 2 hari; dan
9. Perhitungan koloni *M. globosa* dilakukan secara manual.

#### 3.5.4. Karakterisasi Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui daya responsivitas fotokatalis komposit TiO<sub>2</sub> termodifikasi terhadap sinar tampak (DRS) akibat adanya *loading* urea dan TEOS. Kadar nitrogen di dalam fotokatalis perlu diketahui dengan EDX. Selain itu, perlu juga dilihat apakah TiO<sub>2</sub> yang disintesis berupa kristal anatase atau bukan dengan menggunakan karakterisasi XRD.

Pada bagian ini tidak dijelaskan prosedur karakterisasinya karena karakterisasi dilakukan oleh operator. Prinsip karakterisasi telah dijelaskan dengan gamblang pada Bab Tinjauan Pustaka.

#### 3.6. Parameter Penelitian

Parameter-parameter penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### a. Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini ada dua, yaitu:

- Komposisi urea : TiO<sub>2</sub> dengan variasi (% berat), yaitu: 0%, 5%, 10%, dan 15%;
- Waktu desinfeksi (menit), yaitu: 0, 30, 60, 120, dan 180; dan
- Perlakuan: UV, sinar tampak, UV + fotokatalis, dan s. tampak + fotokatalis

##### b. Variabel terikat

Variabel terikat pada sintesis fotokatalis ini berupa absorbansi fotokatalis terhadap sinar tampak sebagai hasil karakterisasi karena pengaruh komposisi fotokatalis. Selain itu, variabel terikatnya berupa jumlah koloni jamur *M. globosa* setelah desinfeksi akibat lamanya waktu desinfeksi dan juga hasil dari pengaruh komposisi fotokatalis;

c. Variabel kontrol

Variabel kontrolnya berupa konsentrasi fotokatalis ( $\text{TiO}_2$  maupun  $\text{TiO}_2$  termodifikasi) sebesar 1 gr/ L.

### 3.7. Pengambilan, Pengolahan, dan Analisis Data

#### 3.7.1. Karakterisasi Fotokatalis Hasil Sintesis

Pada karakterisasi ini, data yang diambil berupa:

- Absorbansi/ reflektansi material sebagai fungsi panjang gelombang (DRS) untuk katalis yang telah disintesis;
- Pola difraksi sebagai fungsi sudut difraksi (XRD) untuk katalis yang telah disintesis;

Pengolahan data pada karakterisasi katalis dilakukan dengan membuat grafik antara panjang gelombang (nm) dan absorbansi (a.u.) dan menghitung energi *band gap* pada fotokatalis komposit  $\text{TiO}_2$  termodifikasi. Selain itu, komposisi kristal anatase dan rutilnya juga didapat dari hasil karakterisasi XRD. Analisis data untuk karakterisasi fotokatalis dilakukan dengan melihat grafik hubungan panjang gelombang dan absorbansi dari fotokatalis komposit  $\text{TiO}_2$  termodifikasi.

#### 3.7.2. Desinfeksi Jamur *M. globosa*

Pada desinfeksi ini, data yang diambil berupa jumlah koloni jamur *M. globosa* sebelum dan setelah desinfeksi. Pengolahan data dilakukan secara kuantitatif dengan membuat grafik hubungan antara waktu desinfeksi dengan jumlah koloni *M. globosa* untuk setiap komposisi urea :  $\text{TiO}_2$ .

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisis Percobaan Secara Umum

Berikut ini merupakan deskripsi percobaan secara umum beserta analisisnya yang akan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: sintesis fotokatalis, konfigurasi reaktor fotokatalis dan desinfeksi *M. globosa*.

##### 4.1.1. Sintesis Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

Dasar pemilihan TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis utama pada penelitian ini telah dijelaskan secara gamblang pada Bab Tinjauan Pustaka. Proses sintesis fotokatalis TiO<sub>2</sub> yang dimodifikasi dengan penambahan urea dan TEOS dimulai dengan pencampuran TiO<sub>2</sub> sebanyak 5 gr dengan etanol sebanyak 70 mL. Metode preparasi pada penelitian ini, dengan urea sebagai sumber nitrogen dan TEOS sebagai sumber silika, terinspirasi oleh penelitian yang dilakukan oleh Dang *et al.* (2010). Urea dipilih sebagai sumber nitrogen karena mudah didapat dan dapat berfungsi sebagai pengontrol pH (Kusumawardani, n.d.). Dengan metode yang tidak terlalu rumit dan lama, Dang *et al.* (2010) telah membuktikan bahwa urea cukup efektif berperan sebagai sumber nitrogen untuk menurunkan *band gap*. Pada percobaan yang dilakukan oleh Dang *et al.* (2010) tersebut, nitrogen telah berhasil terdopan ke dalam TiO<sub>2</sub> dengan *loading* nitrogen optimal sebanyak 40% mol sehingga fotoaktivitas TiO<sub>2</sub> di bawah sinar tampak meningkat.

Campuran TiO<sub>2</sub> dan etanol kemudian dihomogenkan menggunakan ultrasonikator selama 10 menit. Secara terpisah, dicampurkan juga TEOS 2 mL dan etanol absolut sebanyak 10 mL dengan air sebanyak 10 mL. Pada saat penambahan larutan TEOS ke dalam sol TiO<sub>2</sub> pH campuran turun dari 4 menjadi 2 – 1,17. Derajat keasaman larutan memengaruhi ukuran partikel TiO<sub>2</sub>, semakin asam atau basa maka ukuran partikel katalis semakin kecil, yang berarti luas permukaannya semakin besar. Dalam keadaan pH asam, permukaan TiO<sub>2</sub> akan bermuatan positif sehingga daya tolak antar partikel TiO<sub>2</sub> akan semakin besar. Akibatnya, TiO<sub>2</sub> dapat terdistribusi secara merata di seluruh permukaan cairan (Slamet *et al.*, 2006).

HCl 2 M diteteskan sedikit demi sedikit ke dalam campuran etanol dan aquadest tadi hingga pH campuran menjadi 2 ( $\pm 5$  tetes). Campuran TEOS tersebut diaduk dengan *stirrer bar* selama setengah jam hingga merata. Kemudian urea dimasukkan dengan variasi berat 0 gr; 0,25 gr; 0,5 gr; dan 0,75 gr.

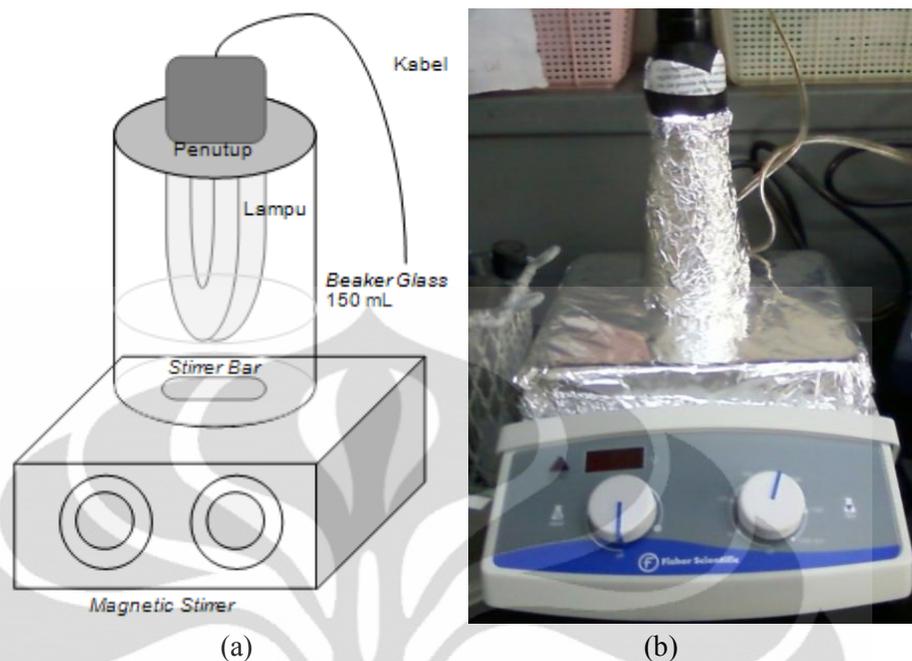
TiO<sub>2</sub> + etanol dan TEOS+ etanol + air + HCl kemudian diaduk dengan *stirrer bar* selama satu jam. Setelah itu diaduk sambil dipanaskan selama setengah jam hingga campuran berbentuk pasta. Proses ini merupakan proses pengeringan awal sebelum dimasukkan ke dalam *furnace*. Hal ini mencegah terjadinya ledakan pada *furnace* akibat tekanan uap yang dihasilkan karena kandungan air dan pelarut seperti etanol masih banyak.

Proses pengeringan pada *furnace* dilakukan pada suhu 500°C selama satu jam. Proses pemanasan ini disebut juga dengan istilah kalsinasi. Selain untuk menghilangkan pelarut seperti air dan etanol, kalsinasi ini juga bertujuan untuk mendekomposisi urea menjadi nitrogen yang akan disisipkan/ didopankan ke dalam TiO<sub>2</sub> (Dang *et al*, 2010). Pertumbuhan kristal juga menjadi tujuan dari kalsinasi. Hasil fotokatalis modifikasi berbentuk serbuk yang dihaluskan.

#### **4.1.2. Konfigurasi Reaktor Fotokatalisis**

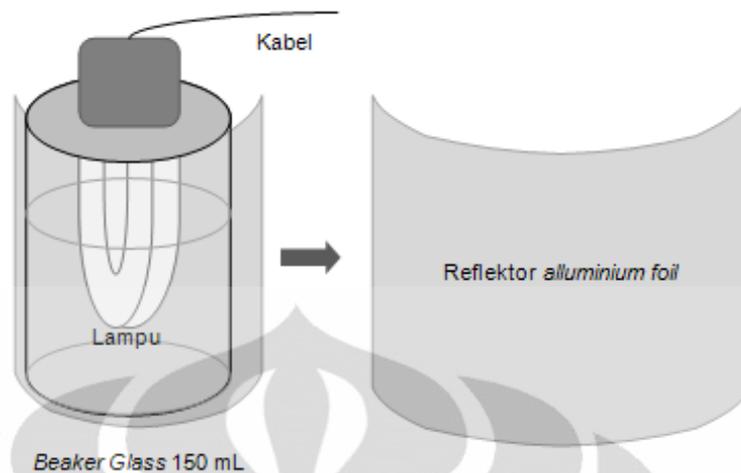
Setidaknya ada tiga syarat terjadinya reaksi fotokatalisis, yaitu: adanya kontak antara foton (sumber cahaya), fotokatalis, dan adanya reaktan. Dalam hal ini, yang menjadi sumber foton adalah lampu UV (9 Watt) dan lampu pijar (8 Watt), sedangkan yang berperan sebagai fotokatalis adalah TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> termodifikasi dengan penambahan urea dan silika. Air dan *M. globosa* dalam hal ini berperan sebagai reaktannya dimana reaksi desinfeksi terjadi antara gugus OH radikal dari air dengan dinding sel *M. globosa*.

Fotoreaktor didesain sedemikian rupa agar ketiga syarat tersebut dapat bertemu/ kontak dengan intens dan efektif. Berikut ini merupakan konfigurasi fotoreaktor desinfeksi disajikan pada gambar 4.1.



**Gambar 4. 1.** Konfigurasi Fotoreaktor Desinfeksi secara Keseluruhan dengan (a) Rancangan (b) Realisasi

Hal penting yang perlu diperhatikan adalah jarak sumber foton (lampu) dengan cairan suspensi. Jarak lampu dirancang sedemikian rupa agar dekat dengan cairan suspensi karena jarak merupakan fungsi dari intensitas. Hal ini berhubungan dengan intensitas cahaya yang akan diserap oleh fotokatalis. Semakin dekat jarak lampu, maka semakin intens pula fotokatalis akan menyerap foton dari lampu tersebut. Dengan semakin intensnya fotokatalis menyerap foton, maka akan semakin baik pula proses fotokatalisis sehingga proses inaktivasi *M. globosa* semakin baik. Selain itu pula, untuk meningkatkan intensitas cahaya digunakan aluminium foil sebagai reflektor sehingga cahaya terperangkap di dalam sistem (fotoreaktor). Gambar 4.2 memperlihatkan bentuk reflektor sebagai pemerangkap cahaya sekaligus sebagai penguat cahaya.



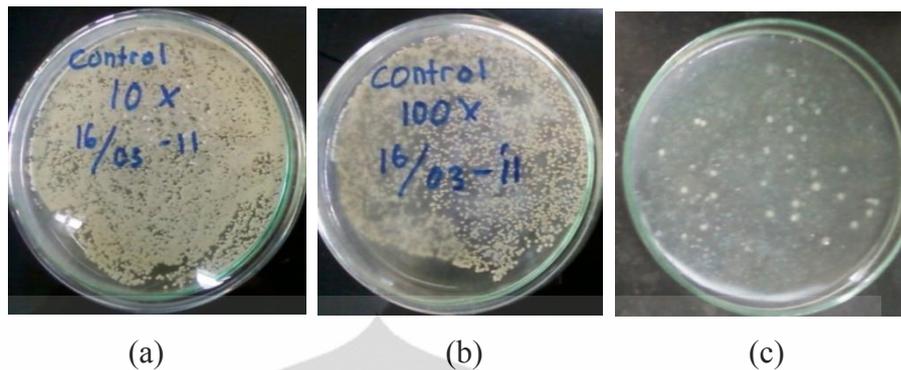
**Gambar 4. 2.** Fotoreaktor yang Diselimuti dengan Reflektor

*Beaker glass* 150 mL dijadikan sebagai wadah tempat suspensi fotokatalis dan *M. globosa* yang diaduk dengan *stirrer bar*. Reaktor tersebut diisolasi sedemikian rupa agar tidak terdapat celah yang menyebabkan kontak dengan udara luar untuk menghindari terjadinya kontaminasi oleh mikroorganisme lain yang tidak diinginkan seperti bakteri atau jamur uniseluler lainnya seperti *Aspergillus spp.* Kontaminasi tersebut menyebabkan tertutupnya koloni *M. globosa* di atas medium sehingga sulit untuk dihitung.

#### 4.1.3. Percobaan Desinfeksi *M. globosa* secara Fotokatalitik

Sebelum melakukan percobaan, terlebih dahulu dilakukan sterilisasi semua alat dan bahan percobaan. Sterilisasi alat dan bahan dilakukan menggunakan *autoclave* pada suhu 120°C selama satu jam. Pada suhu 120°C akan terjadi inaktivasi bakteri maupun jamur uniseluler kontaminan secara termal. Sterilisasi tempat percobaan/ lingkungan juga perlu dilakukan. Caranya adalah dengan disemprotkannya meja, *magnetic stirrer*, *vortex*, dan alat lainnya menggunakan alkohol 70%. Alkohol 70 % digunakan sebagai desinfektan karena memang sudah terbukti mempunyai efek biosida untuk mikroorganisme.

Percobaan ini diawali dengan pembuatan suspensi *M. globosa* yang kemudian diencerkan 1000 kali. Tujuan dari pengenceran tersebut adalah agar tidak terlalu banyak koloni *M. globosa* yang tumbuh. Sebelumnya telah dicoba dengan pengenceran 10 kali dan 100 kali. Hasilnya menunjukkan bahwa masih terlalu banyak koloni *M. globosa* yang tumbuh sehingga sangat sulit untuk dihitung (gambar 4.3).



**Gambar 4. 3.** Penampakan Koloni *M. globosa* dengan Pengenceran (a) 10 kali, (b) 100 kali, dan (c) 1000 kali

Setelah pengenceran dilakukan, selanjutnya adalah homogenisasi suspensi *M. globosa* menggunakan *vortex* selama 2 menit. Hal ini perlu dilakukan agar sel *M. globosa* yang telah dicungkil dengan kawat ose (hanya seujung kawat ose saja) terdispersi dengan merata di dalam air. Kemudian suspensi *M. globosa* tadi dicampurkan dengan fotokatalis. Sebelum dimasukkan ke reaktor, suspensi *M. globosa* + fotokatalis dihomogenkan lagi dengan *vortex* selama 30 detik. Setelah selesai dihomogenkan, maka suspensi tersebut dimasukkan ke dalam reaktor. Sebelum diaduk dengan *magnetic stirrer*, maka diambil terlebih dahulu sampel sebanyak 0,3 mL sebagai kontrol/ patokan pada waktu 0 menit. Lama pengadukan adalah 180 menit dengan pengambilan sampel pada 30 menit, 60 menit, 120 menit, dan 180 menit. Kecepatan pengadukan untuk setiap perlakuan disamakan, yaitu 350 rpm.

Selama percobaan, diusahakan berada di dekat sumber api (dalam hal ini bunsen) untuk meminimalisir kontaminasi oleh spora jamur uniseluler yang berada di udara seperti *Aspergillus spp.* Kontaminan tersebut dihindari karena akan menutupi koloni *M. globosa* sehingga mempersulit perhitungan.

#### 4.2. Karakterisasi *Energy Dispersive X-ray*(EDX)

Kadar nitrogen dalam fotokatalis termodifikasi perlu untuk dilihat, mengingat tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan *loading* nitrogen optimal yang dilihat dari kinerja di bawah sinar UV maupun sinar tampak. Karakterisasi EDX dibutuhkan untuk mengetahui hal tersebut. Hasil EDX disajikan pada tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4. 1.** Komposisi Unsur Fotokatalis pada Hasil dengan *Loading* Urea (a) 0%, (b) 5%, (c) 10%, dan (d) 15%

(a)

| Unsur | % Massa Atom     |                  |                  |
|-------|------------------|------------------|------------------|
|       | Hasil EDX area 1 | Hasil EDX area 2 | Hasil EDX area 3 |
| C     | 1,57             | 1,00             | 0,70             |
| O     | 60,57            | 60,04            | 46,51            |
| Si    | 3,19             | 3,56             | 3,47             |
| Ti    | 34,37            | 35,40            | 49,32            |

(b)

| Unsur | % Massa Atom     |                  |                  |
|-------|------------------|------------------|------------------|
|       | Hasil EDX area 1 | Hasil EDX area 2 | Hasil EDX area 3 |
| C     | 0,32             | 1,98             | 0,32             |
| O     | 51,49            | 58,01            | 51,49            |
| Si    | 4,00             | 3,04             | 4,00             |
| Ti    | 44,18            | 36,97            | 44,18            |

(c)

| Unsur | % Massa Atom     |                  |                  |
|-------|------------------|------------------|------------------|
|       | Hasil EDX area 1 | Hasil EDX area 2 | Hasil EDX area 3 |
| C     | 1,00             | 2,71             | 1,70             |
| O     | 56,99            | 56,50            | 61,47            |
| Si    | 3,29             | 3,35             | 3,43             |
| Ti    | 38,72            | 37,44            | 33,40            |

(d)

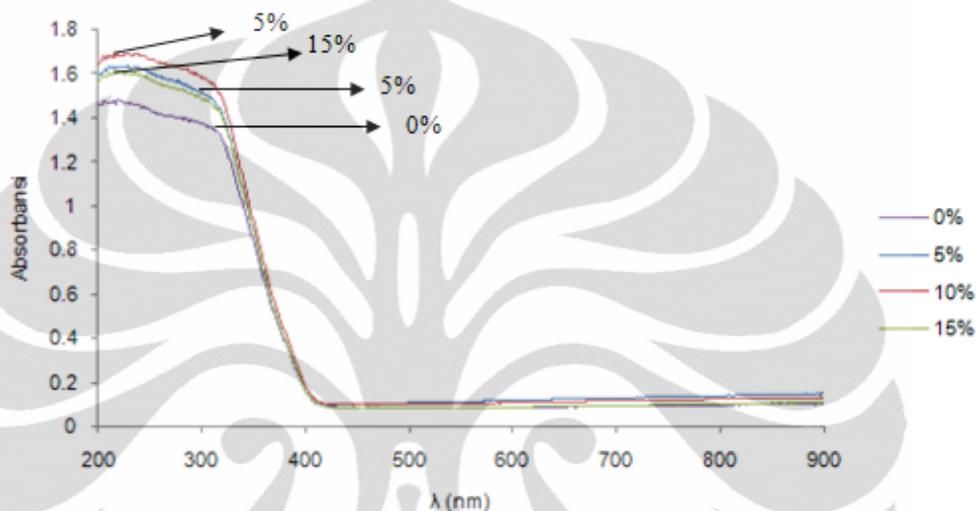
| Unsur | % Massa Atom     |                  |                  |
|-------|------------------|------------------|------------------|
|       | Hasil EDX area 1 | Hasil EDX area 2 | Hasil EDX area 3 |
| C     | 0,97             | 1,87             | 1,90             |
| O     | 59,40            | 59,81            | 56,27            |
| Si    | 3,76             | 3,38             | 4,13             |
| Ti    | 35,87            | 34,93            | 38,51            |

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa tidak adanya nitrogen pada fotokatalis termodifikasi. Tidak terbacanya nitrogen pada hasil EDX bukan berarti tidak terdapatnya samasekali nitrogen pada fotokatalis termodifikasi. Mungkin hanya sedikit nitrogen yang terdapat di dalam fotokatalis sehingga alat SEM tidak mampu membacanya. Dalam hal ini faktor alatlah yang menjadi penyebab tidak terbacanya nitrogen.

Sedikitnya nitrogen yang terdapat pada fotokatalis diduga karena hanya sedikit urea yang berhasil terdekomposisi. Tidak terdekomposisinya urea tersebut diduga karena kurang lamanya waktu homogenisasi. Hasil ini senada dengan hasil karakterisasi DRS berikut ini dimana penambahan nitrogen tidak terlalu berpengaruh terhadap absorbansi fotokatalis terhadap sinar tampak. Dari segi persebaran, fotokatalis termodifikasi komposit tersebut cukup merata dengan persentase/ kandungan tiap unsur di tiap area relatif sama.

### 4.3. Karakterisasi *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tujuan karakterisasi DRS ini adalah untuk mengetahui besar nilai energi *band gap* sebagai pengaruh dari penyisipan nitrogen ke dalam TiO<sub>2</sub>. Gambar 4.5 mendemonstrasikan hasil karakterisasi DRS untuk empat sampel, yaitu: TiO<sub>2</sub> dengan *loading* urea 0%, 5%, 10%, dan 15% berat TiO<sub>2</sub>.



**Gambar 4. 4.** Grafik Absorbansi TiO<sub>2</sub> Termodifikasi pada Sinar UV sebagai pada Tiga Sampel dengan *Loading* Urea 0% (ungu), 5% (biru), 10% (merah), dan 15% (hijau)

Dari empat grafik di atas dapat dilihat bahwa keempat sampel memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan satu sama lain dalam kemampuannya menyerap cahaya. Hal tersebut menunjukkan perbedaan nilai energi *band gap* pada setiap sampel juga tidak terlalu signifikan. Berdasarkan data yang diperoleh dari karakterisasi DRS tersebut, dapat dihitung nilai energi *band gap* untuk setiap sampel. Untuk menghitung nilai energi *band gap* pada sampel, dapat digunakan persamaan 2.8 berikut (Dharma dan A. Pital; 2009):

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

dengan:

$E$  = energi band gap (Joule atau eV)

$h$  = konstanta Planks ( $6,626 \times 10^{-34}$  J.s)

$c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\lambda$  = panjang gelombang cut off (m)

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Dari grafik didapat panjang gelombang *cut off* untuk tiap sampel. Dengan memasukkan nilai tersebut ke persamaan di atas, maka didapatlah nilai energi *band gap*, yaitu:

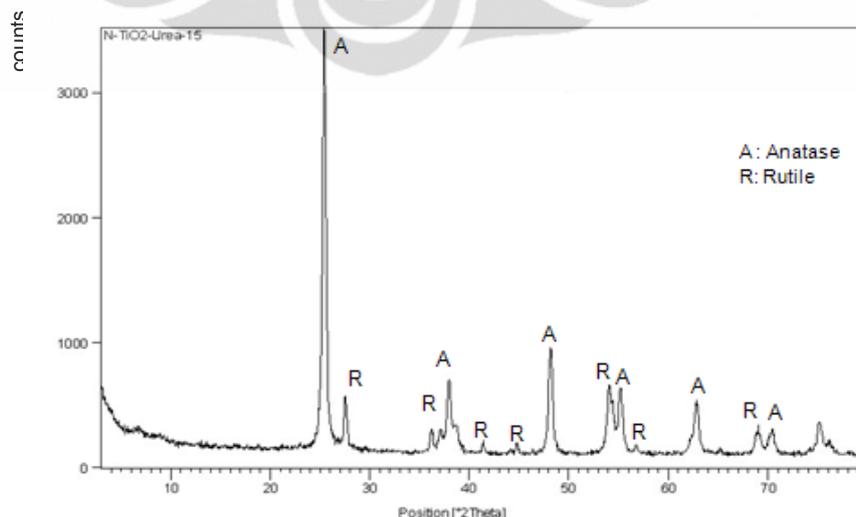
**Tabel 4. 2.** *Band Gap* pada TiO<sub>2</sub> Termodifikasi

| Loading urea (%berat) | $\lambda$ (m)         | Energi <i>band gap</i> |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 0                     | $3,89 \times 10^{-7}$ | 3,20                   |
| 5                     | $3,90 \times 10^{-7}$ | 3,19                   |
| 10                    | $3,95 \times 10^{-7}$ | 3,15                   |
| 15                    | $3,89 \times 10^{-7}$ | 3,20                   |

Dari hasil karakterisasi DRS tersebut dapat disimpulkan bahwa proses penyisipan nitrogen ke dalam kisi kristal TiO<sub>2</sub> belum berhasil menurunkan energi *band gap* fotokatalis TiO<sub>2</sub> secara signifikan yang semula sebesar 3,2 eV (Fujishima *et al.*, 2008).

#### 4.4. Karakterisasi X-ray Diffraction (XRD)

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa fotokatalis hasil sintesis TiO<sub>2</sub> termodifikasi berbentuk kristal. Pada gambar 4.5 terlihat ada dua jenis kristal, yaitu *anatase* dan *rutile*. Hal ini dapat terjadi karena prekursor yang digunakan adalah TiO<sub>2</sub> Degussa P25 yang mengandung 79% *anatase* dan sisanya *rutile* (Fujishima *et al.*, 2008). Penambahan urea dan TEOS berarti tidak mengubah struktur kristal TiO<sub>2</sub>. Sampel yang digunakan adalah TiO<sub>2</sub> dengan *loading* urea 15% berat. Ini karena *loading* urea merupakan *loading* terbanyak pada variasi sehingga cukup representatif sebagai perwakilan sampel.



**Gambar 4. 5.** Hasil karakterisasi XRD pada fotokatalis komposit TiO<sub>2</sub> termodifikasi

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.11, didapat ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  adalah sebesar 59,534 nm. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi  $\text{TiO}_2$ , selain tidak mengubah struktur kristal, juga tidak terlalu memberikan perubahan ukuran kristal  $\text{TiO}_2$ , 40 nm (Malato, 2006). Ukuran kristal tersebut masih dalam rentang nano kristal dengan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan katalis yang berukuran mikro. Luas permukaan yang besar tersebut sangat mendukung terjadinya kontak antara fotokatalis dengan target desinfeksi, *M. globosa*.

#### 4.5. Pengaruh Beberapa Perlakuan terhadap Resistensi *M. globosa*

Pada penelitian ini, telah dilakukan variasi sebanyak 13 perlakuan, yaitu:

- ✓ Hanya pengadukan (kontrol)
- ✓ Iradiasi sinar UV
- ✓ Iradiasi sinar tampak
- ✓  $\text{TiO}_2$  yang diiradiasi sinar UV
- ✓  $\text{TiO}_2$  yang diiradiasi sinar tampak
- ✓  $\text{TiO}_2$  termodifikasi yang diiradiasi dengan sinar UV (*loading* nitrogen 0%, 5%, 10%, dan 15%)
- ✓  $\text{TiO}_2$  termodifikasi yang diiradiasi dengan sinar UV (*loading* nitrogen 0%, 5%, 10%, dan 15%)

Setiap perlakuan tersebut dilakukan masing-masing selama 180 menit (3jam). Data yang didapat dari percobaan berupa jumlah koloni sebagai fungsi waktu. Kemudian data tersebut diolah dan disajikan dalam bentuk grafik dengan waktu sebagai sumbu x dan jumlah koloni dibagi dengan jumlah koloni awal ( $N/N_0$ ) sebagai sumbu y. Berikut ini merupakan penyajian data dalam bentuk grafik beserta analisisnya.

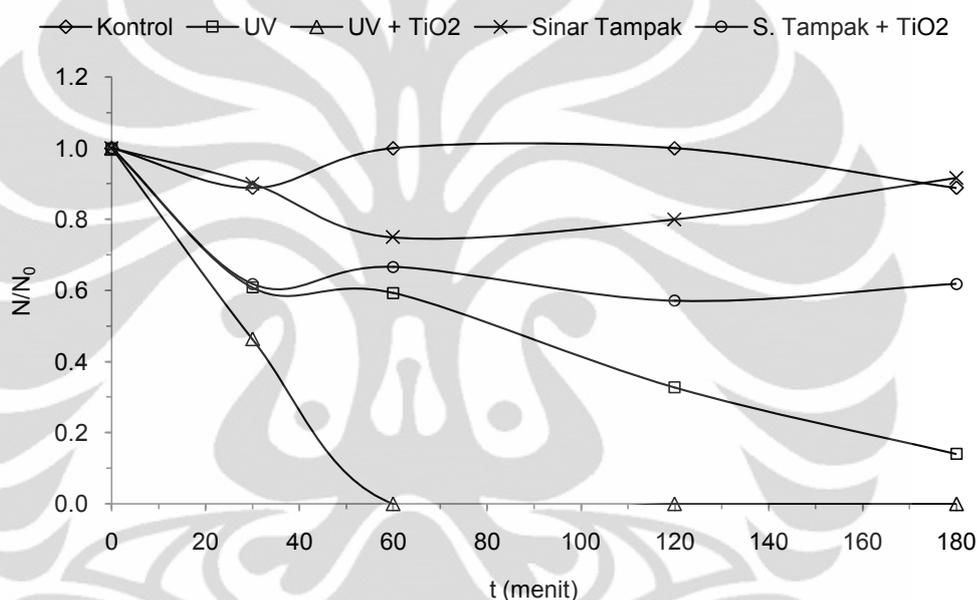
##### 4.5.1. Pengaruh $\text{TiO}_2$ terhadap Resistensi *M. globosa*

Sebelum menguji aktivitas fotokatalis hasil modifikasi, dilakukan uji blangko terlebih dahulu. Uji blangko di sini dilakukan menggunakan  $\text{TiO}_2$  Degussa P25 sebagai pembanding atau patokan terhadap fotokatalis hasil modifikasi. Data pengaruh iradiasi sinar UV dan sinar tampak dengan ada dan tidaknya  $\text{TiO}_2$  disajikan pada tabel 4.3.

**Tabel 4. 3.** Tabulasi pengaruh TiO<sub>2</sub> pada resistensi *M. globosa*

| No. | Waktu (menit) | Kontrol |                  | UV |                  | UV + TiO <sub>2</sub> |                  | S. Tampak |                  | S. Tampak + TiO <sub>2</sub> |                  |
|-----|---------------|---------|------------------|----|------------------|-----------------------|------------------|-----------|------------------|------------------------------|------------------|
|     |               | N       | N/N <sub>0</sub> | N  | N/N <sub>0</sub> | N                     | N/N <sub>0</sub> | N         | N/N <sub>0</sub> | N                            | N/N <sub>0</sub> |
| 1.  | 0             | 9       | 1                | 64 | 1                | 56                    | 1                | 60        | 1                | 20                           | 1                |
| 2.  | 30            | 8       | 0.89             | 39 | 0.61             | 26                    | 0.46             | 54        | 0.9              | 13                           | 0.65             |
| 3.  | 60            | 9       | 1                | 38 | 0.59             | 0                     | 0                | 45        | 0.75             | 14                           | 0.7              |
| 4.  | 120           | 9       | 1                | 21 | 0.33             | 0                     | 0                | 48        | 0.8              | 12                           | 0.6              |
| 5.  | 180           | 8       | 0.89             | 9  | 0.14             | 0                     | 0                | 55        | 0.92             | 13                           | 0.65             |

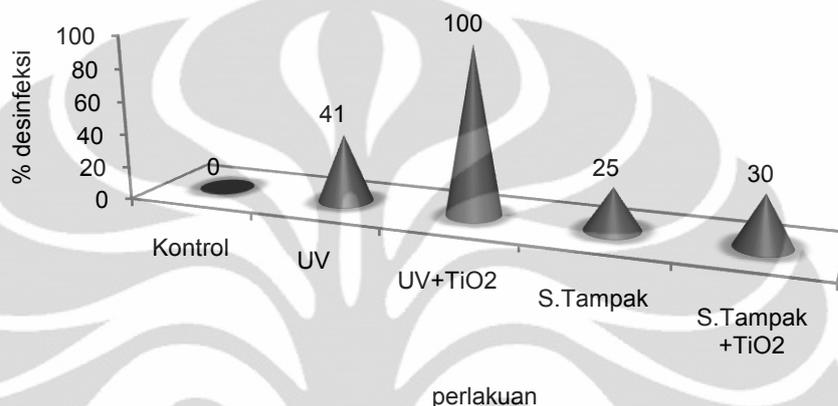
Tabel 4.3 menyajikan jumlah koloni *M. globosa* yang dipengaruhi oleh waktu desinfeksi. Data jumlah koloni tersebut akan diolah menjadi grafik seperti pada gambar 4.6 berikut ini.



**Gambar 4. 6.** Pengaruh TiO<sub>2</sub> terhadap resistensi *M. globosa* dengan jumlah koloni awal (N<sub>0</sub>) masing-masing adalah kontrol (9 koloni), UV (64 koloni), UV+TiO<sub>2</sub> (56 koloni), s. tampak (60 koloni), dan s.tampak+TiO<sub>2</sub> (20 koloni)

Dari gambar 4.6 dapat dilihat pengaruh iradiasi UV dan sinar tampak dengan kehadiran TiO<sub>2</sub> dan tanpa TiO<sub>2</sub>. Pada grafik kontrol terlihat bahwa pengadukan tidak memiliki pengaruh terhadap inaktivasi *M. globosa* karena tidak terdapat cahaya dan/ atau fotokatalis. Berbeda dengan iradiasi sinar UV yang memberikan dampak terhadap resistensi *M. globosa*. Iradiasi sinar UV selama 60 menit menyebabkan terjadinya inaktivasi *M. globosa*, dimana jumlah koloni yang resisten sebanyak 38 koloni dari jumlah koloni awal sebanyak 64 koloni. Hal ini menunjukkan bahwa UV memiliki persentase desinfeksi sebesar 41 %. Jika dibandingkan dengan iradiasi di bawah sinar tampak, dimana *M. globosa* yang

terdesinfeksi hanya sebanyak 15 koloni dengan persentase desinfeksi sebesar 25% (gambar 4.7). Pada iradiasi sinar tampak, terlihat bahwa jumlah koloni sebenarnya mengalami kenaikan lagi. Setelah 180 menit, baru terlihat bahwa persentase desinfeksi di bawah sinar tampak tanpa kehadiran  $\text{TiO}_2$  hanya sebesar 8%. Kenaikan jumlah koloni tersebut diduga karena tidak meratanya pengambilan sampel pada waktu percobaan.



**Gambar 4. 7.** Persentase Desinfeksi  $\text{TiO}_2$  terhadap *M. globosa* pada  $t = 60$  menit

Kehadiran fotokatalis  $\text{TiO}_2$  meningkatkan kinerja desinfeksi (selama 60 menit) sehingga persentase desinfeksi meningkat menjadi 100% (dengan iradiasi UV) dan 30% (dengan iradiasi sinar tampak). Bahkan, di bawah iradiasi sinar UV,  $\text{TiO}_2$  mampu mendesinfeksi *M. globosa* secara tuntas dalam waktu 60 menit. Dengan *band gap*  $\text{TiO}_2$  yang sebesar 3,2 eV (Zhang *et al.*, 2010) sangat cocok untuk gelombang sinar UV ( $< 400$  nm). Dari hasil percobaan juga terlihat bahwa kemampuan desinfeksi  $\text{TiO}_2$  di bawah sinar tampak masih rendah, dimana panjang gelombang sinar tampak 400 – 800 nm tidak cukup kuat untuk mengeksitasi elektron pada  $\text{TiO}_2$  dari pita valensi ke pita konduksi dengan *band gap* sebesar 3,2 eV. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi  $\text{TiO}_2$  dengan memberikan dopan nitrogen yang bertujuan untuk menurunkan *band gap* fotokatalis tersebut.

#### 4.5.2. Pengaruh *Loading Urea* pada $\text{TiO}_2$ Termodifikasi

Aktivitas fotokatalis hasil modifikasi telah diuji dengan iradiasi sinar UV dan sinar tampak dengan variasi *loading* nitrogen. Berikut ini disajikan

pembahasan mengenai pengaruh *loading* nitrogen ke dalam TiO<sub>2</sub> termodifikasi terhadap resistensi *M. globosa* dengan iradiasi sinar UV dan sinar tampak.

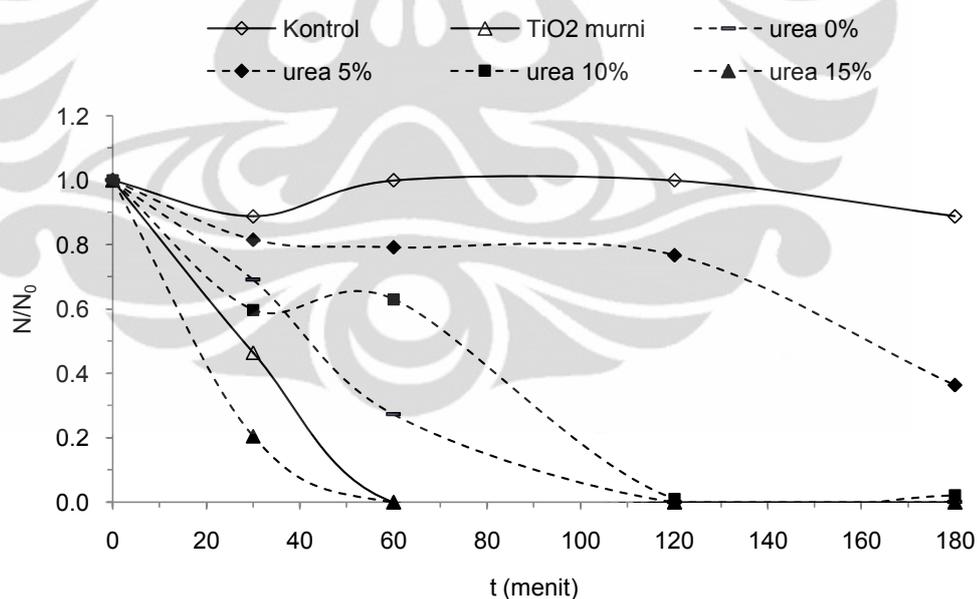
#### 4.5.2.1. TiO<sub>2</sub> Termodifikasi yang Diiradiasi dengan Sinar UV

Sebelum menguji fotoaktivitas TiO<sub>2</sub> termodifikasi di bawah sinar tampak, akan terlebih dahulu dibahas mengenai aktivitasnya di bawah sinar UV. Data hasil percobaan menggunakan fotokatalis TiO<sub>2</sub> termodifikasi dengan iradiasi sinar UV disajikan pada tabel 4.4.

**Tabel 4. 4.** Tabulasi Pengaruh *Loading* Nitrogen pada Resistensi *M. globosa* di Bawah Sinar UV

| No. | Waktu (menit) | Urea 0%       |                  | Urea 5%       |                  | Urea 10%      |                  | Urea 15%      |                  |
|-----|---------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
|     |               | Jumlah koloni | N/N <sub>0</sub> |
| 1.  | 0             | 55            | 1                | 1000          | 1                | 92            | 1                | 39            | 1                |
| 2.  | 30            | 38            | 0.70             | 816           | 0.82             | 55            | 0.60             | 8             | 0.21             |
| 3.  | 60            | 15            | 0.27             | 792           | 0.79             | 58            | 0.63             | 0             | 0                |
| 4.  | 120           | 0             | 0                | 768           | 0.77             | 1             | 0.01             | 0             | 0                |
| 5.  | 180           | 0             | 0                | 364           | 0.36             | 2             | 0.02             | 0             | 0                |

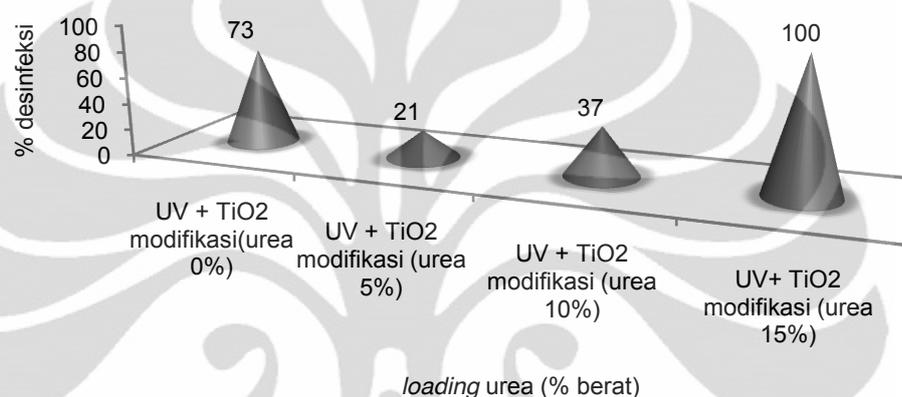
Grafik hasil pengolahan tabel 4.3 dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini.



**Gambar 4. 8.** Pengaruh *loading* urea pada TiO<sub>2</sub> termodifikasi terhadap resistensi *M. globosa* pada sinar UV dengan jumlah koloni awal (N<sub>0</sub>) masing-masing adalah *loading* urea 0% (55 koloni), 5% (1000 koloni), 10% (92 koloni), dan 15% (39 koloni).

Gambar 4.8 mendemonstrasikan kinerja desinfeksi TiO<sub>2</sub> termodifikasi terhadap *M. globosa* di bawah sinar UV yang dipengaruhi oleh *loading* nitrogen.

Kurva menunjukkan adanya penurunan *trend* sehingga dapat diketahui bahwa fotokatalis  $\text{TiO}_2$  termodifikasi memiliki efek fungisida sehingga dapat mendesinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik di bawah sinar UV. Dapat dilihat pada grafik bahwa semakin banyak *loading* nitrogen, maka semakin baik pula kinerja  $\text{TiO}_2$  termodifikasi di bawah sinar UV. Hasil percobaan menunjukkan bahwa persentase desinfeksi untuk *loading* urea 0%, 5%, 10 %, dan 15% berturut-turut adalah 73%, 21%, 37%, dan 100% (gambar 4.9).



**Gambar 4. 9.** Pengaruh *Loading* Urea terhadap % desinfeksi *M. globosa* pada  $t = 60$  menit Di bawah Sinar UV

Gambar 4.9 menunjukkan adanya kenaikan *trend* dimana persentase desinfeksi paling besar ada pada *loading* urea sebanyak 15%. Perbedaan persentase desinfeksi, berdasarkan hasil percobaan, dipengaruhi oleh perbedaan jumlah koloni awal tiap varian (tabel 4.4). Fenomena tersebut menunjukkan semakin banyak jumlah koloni awal, maka akan semakin menurunkan kinerja fotokatalis. Hal tersebut merupakan hal yang lazim karena dengan jumlah koloni yang semakin banyak, maka seharusnya dibutuhkan konsentrasi fotokatalis yang lebih banyak. Dalam penelitian ini, jumlah koloni awal tidak menjadi variabel bebas karena sangat sulitnya untuk mengontrol jumlah koloni awal meskipun dengan pengenceran yang sama. Oleh karena itu perlu adanya metode lain yang lebih baik untuk mengontrol konsentrasi awal *M. globosa* misalnya dengan menggunakan *optical density* (OD), agar data lebih akurat.

Penambahan silika (*loading* urea 0%) ternyata menurunkan kinerja fotokatalis. Jika dibandingkan dengan UV+ $\text{TiO}_2$  murni yang berhasil membunuh

*M. globosa* secara tuntas pada waktu 60 menit, TiO<sub>2</sub> dengan penambahan silika baru mampu menghabiskan *M. globosa* pada saat 120 menit. Hasil tersebut tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa penambahan silika dapat meningkatkan fotoaktivitas fotokatalis di bawah sinar UV. Penyimpangan tersebut diduga karena kemungkinan terdapatnya senyawa-senyawa kimia lain yang belum terdekomposisi secara sempurna sehingga silika tidak begitu maksimal berperan sebagai *support*.

Efek penambahan urea, berdasarkan hasil percobaan, tidak dapat dilihat mengingat pengaruh jumlah koloni awal yang begitu dominan pada kinerja fotokatalis tersebut. Untuk mengetahui pengaruh penambahan urea, maka diperlukan jumlah koloni awal yang sama sehingga selisih persentase desinfeksi dapat dijadikan sebagai parameter.

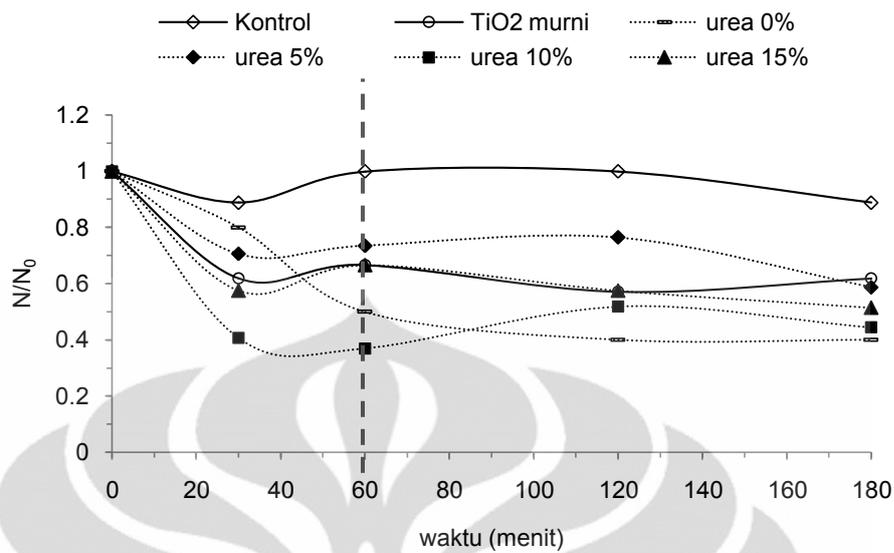
#### 4.5.2.2. TiO<sub>2</sub> Termodifikasi yang Diiradiasi dengan Sinar Tampak

Pada bagian ini akan dibahas mengenai kinerja TiO<sub>2</sub> termodifikasi di bawah sinar tampak. Di sini akan terlihat pengaruh dari penyisipan nitrogen ke dalam fotokatalis dibandingkan dengan kinerja TiO<sub>2</sub> polos di bawah sinar tampak. Selain itu pula akan dibandingkan kinerjanya di bawah sinar UV. Data percobaan pada perlakuan ini disajikan pada tabel 4.5.

**Tabel 4. 5.** Tabulasi Pengaruh *Loading* Nitrogen pada Resistensi *M. globosa* Di bawah Sinar Tampak

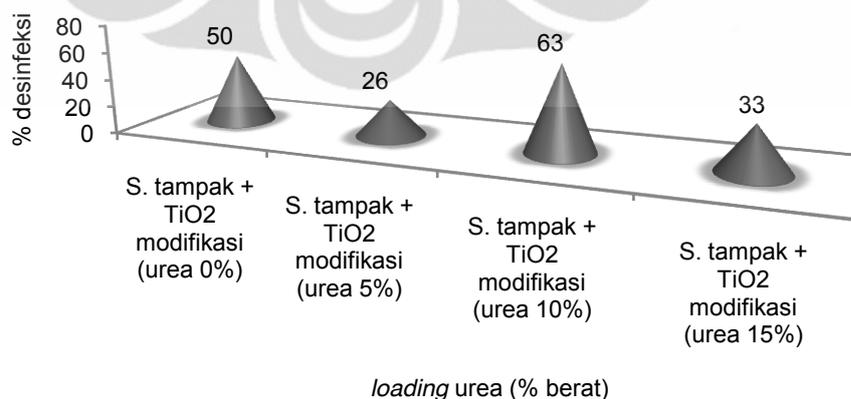
| No. | Waktu (menit) | Urea 0%       |                  | Urea 5%       |                  | Urea 10%      |                  | Urea 15%      |                  |
|-----|---------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
|     |               | Jumlah koloni | N/N <sub>0</sub> |
| 1.  | 0             | 10            | 1                | 34            | 1                | 27            | 1                | 33            | 1                |
| 2.  | 30            | 8             | 0.8              | 24            | 0.71             | 11            | 0.41             | 19            | 0.58             |
| 3.  | 60            | 5             | 0.5              | 25            | 0.74             | 10            | 0.37             | 22            | 0.67             |
| 4.  | 120           | 4             | 0.4              | 26            | 0.76             | 14            | 0.52             | 19            | 0.58             |
| 5.  | 180           | 4             | 0.4              | 20            | 0.59             | 12            | 0.44             | 17            | 0.52             |

Profil jumlah koloni per koloni awal untuk tiap titik waktu dapat dilihat pada gambar 4.10.



**Gambar 4.10.** Pengaruh *loading* urea pada TiO<sub>2</sub> termodifikasi terhadap resistensi *M. globosa* pada sinar tampak dengan jumlah koloni awal ( $N_0$ ) dengan *loading* urea 0%, 5%, 10%, dan 15% berturut-turut adalah 10, 34, 27, dan 33 koloni.

Gambar 4.10 menunjukkan kinerja TiO<sub>2</sub> termodifikasi di bawah sinar tampak dengan pengaruh *loading* nitrogen. Hasil percobaan menunjukkan bahwa secara garis besar terjadi penurunan *trend* pada kurva sehingga dapat dikatakan bahwa modifikasi fotokatalis telah berhasil karena memiliki efek fungisida yang dapat mendesinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik. Persentase desinfeksi TiO<sub>2</sub> termodifikasi untuk *loading* nitrogen 0%, 5%, 10%, dan 15% berturut-turut adalah 50%, 23%, 63%, dan 33% (gambar 4.11).



**Gambar 4.11.** Pengaruh *Loading* Urea terhadap Persentase Desinfeksi *M. globosa* pada  $t = 60$  menit pada Sinar Tampak

Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa penambahan silika (*loading* urea 0%) pada fotokatalis seolah-olah meningkatkan fotoaktivitas TiO<sub>2</sub>. Jika dilihat dengan cermat, hal ini terjadi karena jumlah koloni awal pada varian tersebut hanya 10 koloni. Berbeda dengan *loading* urea 5%, 10%, dan 15% dengan jumlah koloni >25 koloni. Kasus ini sama dengan yang terjadi pada iradiasi sinar UV dimana jumlah koloni memegang peranan penting terhadap fotoaktivitas TiO<sub>2</sub>.

Berdasarkan gambar 4.11 didapat *loading* nitrogen yang optimal, yaitu sebanyak 10 % dengan persentase desinfeksi sebesar 63%. Hal ini didukung oleh data DRS yang menunjukkan bahwa *band gap* terkecil ada pada TiO<sub>2</sub> dengan *loading* urea 10% (3,15 eV). Perbedaan jumlah koloni awal antara *loading* urea 5%, 10%, dan 15% tidak terlalu jauh sehingga dapat disimpulkan bahwa *loading* urea 10% menjadi *loading* optimal.

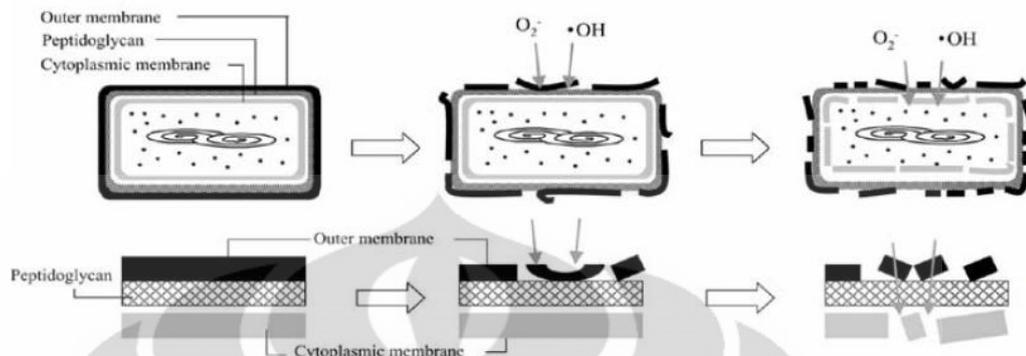
Fenomena yang cukup menarik untuk dikupas juga terlihat pada gambar 4.11. Terlihat pada kurva tersebut, setelah 60 menit, *trend* penurunan tidak lagi signifikan sehingga dapat dikatakan bahwa waktu desinfeksi yang efektif di bawah sinar tampak selama 60 menit. Pembahasan fenomena tersebut dibahas pada subbab berikutnya.

#### 4.6. Analisis Fenomena Desinfeksi *M. globosa* secara Fotokatalitik

Berdasarkan hasil percobaan dengan iradiasi sinar tampak, maka dapat dilihat terdapat kecenderungan bahwa setelah waktu 60 menit, penurunan *trend* pada kurva tidak terlalu signifikan (cenderung fluktuatif). Hal ini mirip dengan hasil percobaan Mitoraj *et al.* (2007) pada *E.coli* dengan empat fasa inaktivasi. Empat fasa inaktivasi mikroorganisme itu adalah masa inkubasi (0-30 menit), inaktivasi cepat (30-60 menit), dan inaktivasi lambat (>60 menit). Pada fasa pertama, ketika konsentrasi *M. globosa* tidak berubah, konsentrasi senyawa radikal oksigen seperti •OH dan O<sub>2</sub><sup>•-</sup> meningkat hingga mencapai tingkat yang berbahaya bagi *M. globosa*. Di bawah konsentrasi ini, *M. globosa* mengeluarkan enzim yang digunakan untuk melindungi sel dari oksidasi.

Pada fasa kedua, konsentrasi senyawa radikal oksigen lebih tinggi daripada enzim yang dikeluarkan oleh *M. globosa*. Akibatnya, sel *M. globosa* tersebut teroksidasi yang kemudian menyebabkan kematian bagi *M. globosa*.

Mekanisme desinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik dapat dilihat pada gambar 4.12 di bawah ini:



**Gambar 4.12.** Mekanisme Desinfeksi Mikroorganisme secara Fotokatalitik oleh  $\text{TiO}_2$  (Sunada *et al.*, 2003)

Gambar 4.12 mendemonstrasikan mekanisme inaktivasi/ desinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik yang diawali dengan adsorpsi fotokatalis oleh sel *M. globosa*.  $\text{TiO}_2$  akan merusak dinding sel *M. globosa* dengan OH radikal yang terbentuk dari reaksi  $\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . Mekanismenya adalah sebagai berikut (Dalrymple *et al.*, 2010):



Sifat oksidator kuat yang dimiliki oleh  $\text{TiO}_2$  akan memiliki sejumlah besar hole ( $h^+$ ) yang akan menyerang  $\text{H}_2\text{O}$  yang melekat pada permukaan semikonduktor sehingga akan terbentuk radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ). Radikal ini akan meningkatkan sifat hidrofilik permukaan. Reaksi yang terjadi ialah:



sedangkan  $\text{O}_2$  akan bertindak sebagai elektron akseptor dan membentuk ion superoksida ( $\bullet\text{O}_2^-$ ).



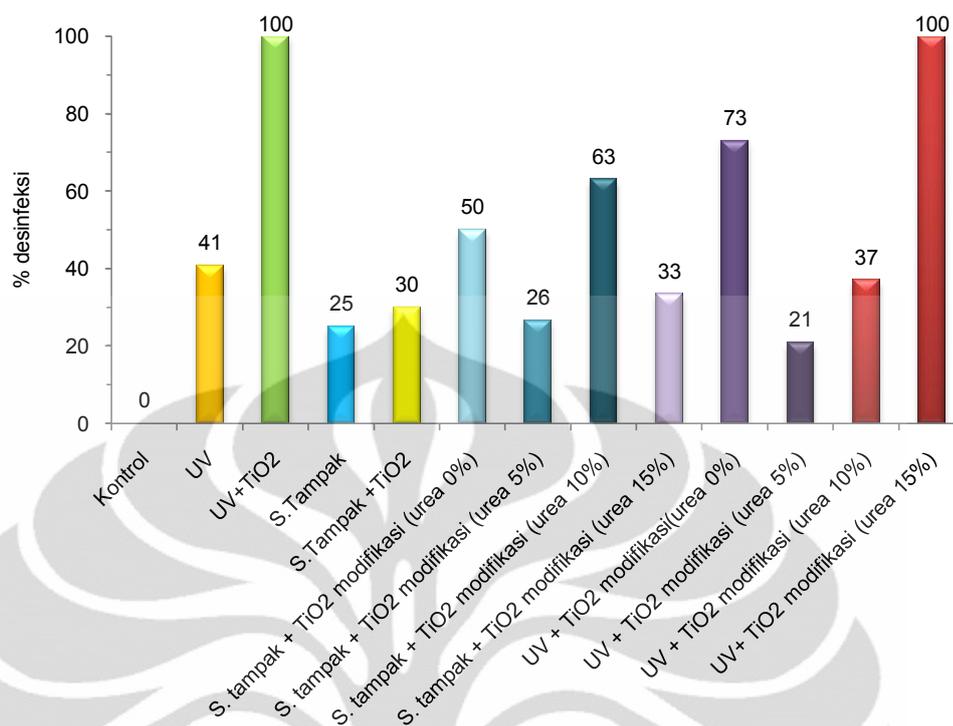
Senyawa O radikal [  $\cdot OH$  dan  $\cdot O_2^-$  ] tersebut akan menghancurkan dinding sel *M. globosa* sehingga sel mengalami kebocoran. Sitoplasma sel akan keluar dan *M. globosa* mengalami kekeringan sehingga sel akan mati.

Penurunan laju inaktivasi pada fasa ketiga diduga karena adanya konsumsi senyawa reaktif oksigen yang bukan saja oleh sel yang hidup, melainkan oleh enzim yang dihasilkan oleh *M. globosa* tadi, sebagai pertahanan diri (Mitoraj *et al.*, 2007). Selain itu, iradiasi sinar tampak tidak mendukung proses desinfeksi *M. globosa* karena energi pada sinar tampak tidak begitu besar, *i.e.* tidak memiliki efek sebagai desinfektan.

Pada iradiasi sinar UV, *trend* menunjukkan laju inaktivasi yang relatif tetap dan dapat mendesinfeksi *M. globosa* hingga tuntas. Hal ini disebabkan oleh adanya efek fungisida dari UV. Meskipun efek inaktivasi OH radikal sudah tidak terlalu signifikan setelah menit 60, sinar UV dengan intensitasnya yang semakin bertambah seiring waktu dapat merusak dinding sel *M. globosa* karena energinya yang cukup tinggi yang berbahaya bagi sel *M. globosa*, *i.e.* sinar UV memiliki efek desinfektan terhadap *M. globosa*.

Dari fenomena yang unik tersebut, dapat disimpulkan bahwa waktu efektif untuk mendesinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik adalah selama 60 menit di bawah sinar tampak. Di bawah sinar UV, *M. globosa* terdesinfeksi secara tuntas pada waktu 60-120 menit.

Gambar 4.13 berikut ini merepresentasikan rekapitulasi persentase desinfeksi pada semua perlakuan.



**Gambar 4. 13.** Persentase Desinfeksi *M. globosa* pada Berbagai Perlakuan pada t = 60 menit

Dari gambar 4.13 dapat dilihat bahwa perlakuan yang paling efektif adalah dengan sinar UV+TiO<sub>2</sub> (100%) dan UV+TiO<sub>2</sub> dengan penambahan urea 15%. Untuk *loading* urea optimal dengan iradiasi sinar tampak adalah 10 % (%desinfeksi 63%).

Dari hasil percobaan dengan iradiasi sinar tampak dengan kehadiran fotokatalis termodifikasi jelas terlihat bahwa efek penambahan urea tidak terlalu meningkatkan kinerja fotokatalis. Hal ini terjadi karena sangat sedikitnya nitrogen yang tersisipkan ke dalam kisi kristal TiO<sub>2</sub>. Hal tersebut semakin diperkuat dengan hasil DRS dan EDX pada subbab sebelumnya. Perlu penelitian lanjutan untuk menemukan metode pendopanan yang lebih baik lagi.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Kinerja fotokatalis TiO<sub>2</sub> dalam mendesinfeksi *M. globosa* secara fotokatalitik dengan iradiasi sinar UV 3,3 kali lebih baik dibandingkan dengan iradiasi sinar tampak.
2. *Loading* urea 10% berat TiO<sub>2</sub>, yang merupakan *loading* optimal, dapat meningkatkan kemampuan desinfeksi fotokatalis TiO<sub>2</sub> di bawah sinar tampak (selama 60 menit) menjadi 2,1 kali dibandingkan dengan TiO<sub>2</sub> murni.
3. Waktu paling efektif dalam mendesinfeksi *M. globosa* di bawah sinar tampak adalah selama 60 menit.

#### 5.2. Saran

Adapun saran yang penulis ajukan untuk penelitian lanjutan kedepannya, yaitu:

1. Perlu adanya perbaikan metode pendopanan ataupun penambahan dopan lain yang lebih baik;
2. Sebaiknya digunakan *optical density* (OD) menggunakan spektrofotometer dalam menentukan konsentrasi awal, sebagai pengganti jumlah koloni awal, agar lebih akurat;
3. Selain desinfeksi terhadap *M. globosa* sebagai mikroflora penyebab ketombe, perlu juga diteliti tentang dekomposisi terhadap senyawa lipid pada sebum yang dihasilkan oleh kelenjar sebacea;
4. Perlu adanya uji klinis sehingga dapat tercipta produk anti ketombe yang mampu menjawab permasalahan ketombe;
5. Perlu adanya kajian statistik demi keakuratan data.

## DAFTAR REFERENSI

- Asahi, R., Morikawa, T., Ohwaki, T., Aoki, K., Taga Y., 2001. *Visible-light Photocatalysis in Nitrogen-Doped Titanium Oxides*. *Sci.*, 269–71.
- Ashbee H. R. 2007. *Update on The Genus Malassezia*. Mycology Reference Centre, Department of Microbiology, Leeds, UK. Vol. 45, No. 4, 287-303.
- Atmadja, T.A., 2010. *Sudah Menemukan Bintang Baru?*. <http://tri.astraatmadja.org/2010/10/05/sudah-menemukan-bintang-baru/>. (Diakses pada 23 Juni 2011).
- Bitton, G., 2005. *“Wastewater microbiology”*. John Wiley & Sons: New Jersey, 3rd Ed.
- Burda, C., Lou, Y., Chen, X., Samia, A.C.S., Stout, J., dan Gole, J.L., 2003. *Enhanced Nitrogen Doping in TiO<sub>2</sub> Nanoparticles*. *Nano Lett.*, Vol. 3, No. 8, 1049-1051.
- Catherine, M. B., Falconer, J.L., 2001. *Characterization of Adsorbed Species on TiO<sub>2</sub> after Photocatalytic Oxidation of Toluene*. *J. Catal.*, 200, 21–33.
- Dalrymple, O.K., Trotsb, M.A., dan Goswamia, Y., 2010. *A Review of The Mechanisms and Modeling of Photocatalytic Disinfection*. *J. Appl. Catal. B: Environ.* Vol. 98, 27–38.
- Dang, T.M.D., Le, D.D., Chau, V.T., dan Dang, M.C., 2010. *Visible-Light Photocatalytic Activity of N/SO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> Thin Films on Glass*. *J. Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* Doi: 10.1088/2043-6254/1/1/015004.
- Dawson, T.L., 2007. *Malassezia globosa and restricta: Breakthrough Understanding of the Etiology and Treatment of Dandruff and Seborrheic Dermatitis through Whole-Genome Analysis*. *J. Investig. Dermatol. Symp. Proc. Dec.* Vo. 12, No. 2, 15-19.
- Dharma, J. dan Pisal, A., 2009. *Simple Method of Measuring the Band Gap Energy Value of TiO<sub>2</sub> in the Powder Form using a UV/Vis/ NIR Spectrometer*. PerkinElmer, Inc.: Shelton, CT USA., 1– 4.
- Fujishima, A., Zhang, X., dan Tryk, D.A., 2008. *TiO<sub>2</sub> Photocatalysis and related Surface Phenomena*. *Surface Sci. Reports*, 63, 515-582.

- Gunlazuardi, J., 2001. *Fotokatalisis pada Pemukaan TiO<sub>2</sub>: Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, Prosiding Skripsi Nasional Kimia Fisika II, Jakarta, 1-15.
- Gupta, A. K., De Angelis, Y., Kaczvinsky, J.R., Schwartz, J.R., dan Dawson, T.L., 2003. *Application of Novel Molecular Methods to Delineate The Role of Specific Malassezia Species in The Etiology of Dandruff*. Poster presented at Am. Acad. Dermatol. Meeting.
- Hu, C., Hu, X., Guo, J., dan Qu, J., 2006. *Efficient Destruction of Pathogenic Bacteria with NiO/SrBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> under Visible Light Irradiation*. Environ. Sci. Technol. 40, 5508-5513.
- In-Cheol, Zhang, Q., Yin, S., Sato, T., dan Saito, F., 2008. *Improvement in Photocatalytic Activity of TiO<sub>2</sub> under Visible Irradiation through Addition of N-TiO<sub>2</sub>*. J. Environ. Sci. Technol., Vol. 42, No. 10, 3622–3626.
- Introduction to X-ray Diffraction*, n.d. [http:// www. mrl. ucsb. edu/ mrl/ centralfacilities/ xray/ xray -basics/ index. html](http://www.mrl.ucsb.edu/mrl/centralfacilities/xray/xray-basics/index.html). (Diakses pada 02 Juli 2011)
- Kindo, A.J., 2004. *Identification of Malassezia Species*. Indian J. Med. Microbiol., Vol. 22, No. 3, 179-181.
- Kit, D., 2004. *Seborrheic Dermatitis Dandruff Research Update*. [http:// www. pgbeautygroomingscience. com/ assets/ files/ research \\_ updates/ Dan % 20 Kit % 20 July % 20 28 \\_ 1. pdf](http://www.pgbeautygroomingscience.com/assets/files/research_updates/Dan%20Kit%20July%2028_1.pdf). (Diakses pada 02 Juni 2010)
- Kusumawardani, C., Kartini, I. Narsito, dan Bell, J. n.d. *Synthesis of Anatase-Type Nitrogen-Doped Titania Mesopore Through Sol Gel Method*. [http:// staff. uny. ac. id/ sites/ default/ files/ penelitian/ Cahyorini % 20 Kusumawardani, % 20 M.Si./ article \\_ sandwich. pdf](http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/penelitian/Cahyorini%20Kusumawardani,%20M.Si./article_sandwich.pdf). (Diakses 20 Juni 2011)
- Malato, Ibáñez, F.B., 2006. *Solar Disinfection of Drinking Water*. J. Solar Energy Eng. Vol. 129, 1-12.
- Mitoraj, D., Jańczyk, A., Strus, M., Kisch, H., Stochel, G., Heczko, P.B., dan Macyk, W., 2007. *Visible Light Inactivation of Bacteria and Fungi by Modified Titanium Dioxide*. J. Photochem. Photobiol. and Sci., Vol. 6, 642–648.

- Naturakos, September 2009. Vol. IV/No.11, 2009. Badan Pengawas Obat dan Makanan: Jakarta, 1-5.
- Seven, O., Dindar, Aydemir, S., Metin, D., Ozinel, M.A., Icli, S., 2004. *Solar Photocatalytic Disinfection of a Group of Bacteria and Fungi Aqueous Suspensions with TiO<sub>2</sub>, ZnO, and Sahara Desert Dust*. J. Photochem. Photobiol. A: Chem. Vol. 165, 103–107.
- Ro, B.I. dan Dawson, T.L., 2005. *The Role of Sebaceous Gland Activity and Scalp Microfloral Metabolism in The Etiology of Seborrheic Dermatitis and Dandruff*. J. Investig. Dermatol. Symp. Proc. Dec. Vol. 10. No. 3, 194-197.
- Sartono, A., 2006. *Scanning Elektron Microscopy*. Tugas Akhir Mata Kuliah Proyek Laboratorium Jurusan Fisika FMIPA-UI.
- Scanning Electron Microscope*, n.d. <http://www.purdue.edu/rem/rs/sem.htm>. (Diakses pada 02 Juli 2011)
- Sichel, C., De Cara, M., Tello, J., Blanco, J., dan Ibañez, P.F., 2007. *Solar Photocatalytic Disinfection of Agricultural Pathogenic Fungi: Fusarium species*. Application Catal. B: Environ. Vol. 74, 152-160.
- Skin Structure and Function*, n.d. <http://doctorderm.homestead.com/skinanatomy.html> (Diakses pada 26 Juni 2011)
- Slamet, Bismo, S., Arbianti, R., dan Sari, Z., 2006. *Penyisihan Fenol dengan Kombinasi Proses Adsorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Karbon Aktif Dan TiO<sub>2</sub>*. Jurnal Teknologi, Edisi No.4 Tahun XX, ISSN 0215-1685, 303-311.
- Slamet, Bismo, S. dan Arbianti, R., 2007. *Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO<sub>2</sub> serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Universitas Indonesia.
- Sunada, K., Watanabe, T., 2003. *Studies on Photokilling of Bacteria on TiO<sub>2</sub> Thin Film*. J. Photochem. Photobiol. Chem. Vol. 6221, 1–7.
- Sun, R.D., Nakajima, A., dan Watabe, T.K.H., 2003. *Decomposition Of Gas-Phase Octamethyltrisiloxane on TiO<sub>2</sub> Thin Film Photocatalyst-Catalytic Activity, Deactivation, and Regeneration.*, 203-209.

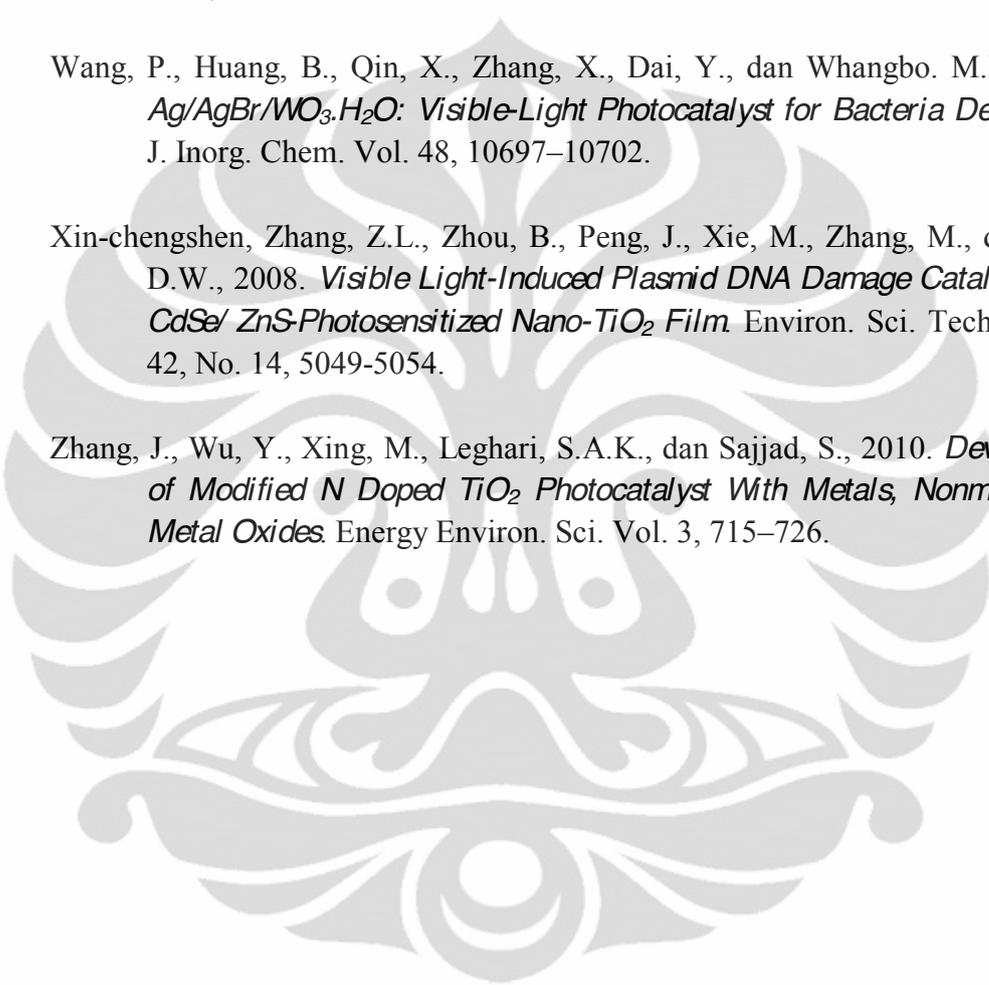
*Taxonomic Classification*, 2002. <http://www.doctorfungus.org/thefungi/Malassezia.php>. (Diakses pada 01 Mei 2011)

*The Malassezia Genome Project*. 2008. [http://www.pgdermatology.com/downloads/documents/2086\\_Genome\\_Final.pdf](http://www.pgdermatology.com/downloads/documents/2086_Genome_Final.pdf). (Diakses pada 01 Juni 2010)

Wang, P., Huang, B., Qin, X., Zhang, X., Dai, Y., dan Whangbo. M.H., 2009. *Ag/AgBr/WO<sub>3</sub>.H<sub>2</sub>O: Visible-Light Photocatalyst for Bacteria Destruction*. J. Inorg. Chem. Vol. 48, 10697–10702.

Xin-chengshen, Zhang, Z.L., Zhou, B., Peng, J., Xie, M., Zhang, M., dan Pang, D.W., 2008. *Visible Light-Induced Plasmid DNA Damage Catalyzed by a CdSe/ ZnS-Photosensitized Nano-TiO<sub>2</sub> Film*. Environ. Sci. Technol., Vol. 42, No. 14, 5049-5054.

Zhang, J., Wu, Y., Xing, M., Leghari, S.A.K., dan Sajjad, S., 2010. *Development of Modified N Doped TiO<sub>2</sub> Photocatalyst With Metals, Nonmetals and Metal Oxides*. Energy Environ. Sci. Vol. 3, 715–726.



## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran A: Data Jumlah Koloni *M. globosa*

**Tabel A.** Tabulasi Data Jumlah Koloni pada Beberapa Perlakuan terhadap Pertumbuhan *M. globosa*

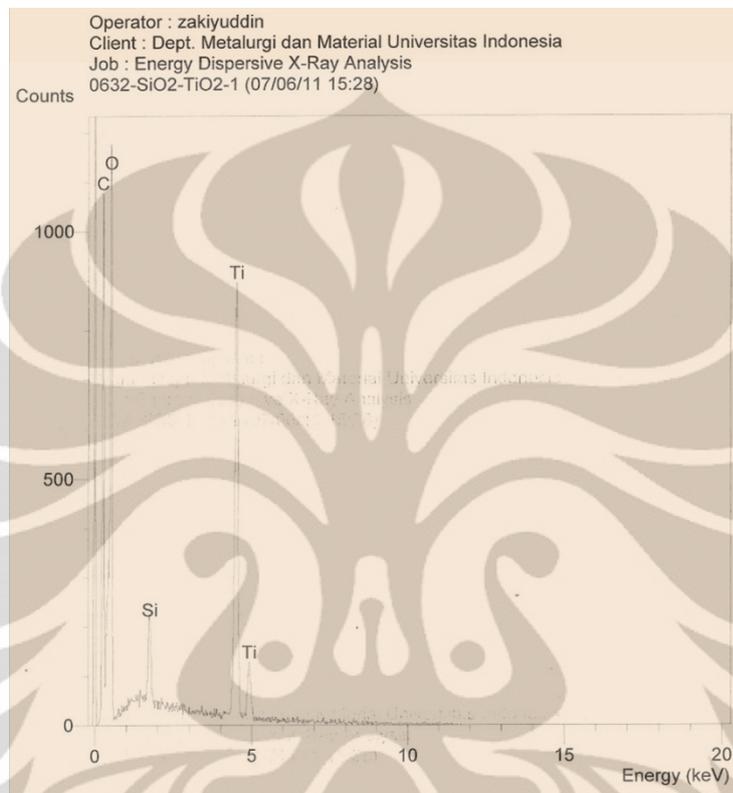
| No. | Waktu Kontak (menit) | Jumlah Koloni |    |                     |                                 |              |  |  |   |  |  |  |   |   |
|-----|----------------------|---------------|----|---------------------|---------------------------------|--------------|--|--|---|--|--|--|---|---|
|     |                      | Kontrol       | UV | UV+TiO <sub>2</sub> | Sinar Tampak + TiO <sub>2</sub> | Sinar Tampak | Sinar Tampak + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 0%) | Sinar Tampak + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 5%) | Sinar Tampak + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 10%) | UV + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 0%) | UV + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 5%) | UV + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 5%) | UV + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 10%) | UV + TiO <sub>2</sub> modifikasi (urea 15%) |
| 1.  | 0                    | 9             | 64 | 56                  | 35                              | 86           | 10   | 34   | 27  | 33   | 55   | 1000                                       | 92  | 92  |
| 2.  | 30                   | 8             | 39 | 26                  | 13                              | 54           | 8  | 24   | 11  | 19   | 38   | 816  | 55  | 55  |
| 3.  | 60                   | 9             | 38 | 0                   | 14                              | 33           | 5  | 25   | 10  | 22   | 15   | 792  | 58  | 58  |
| 4.  | 120                  | 9             | 21 | 0                   | 12                              | 48           | 4  | 30   | 14  | 19   | 0  | 768  | 1   | 1   |
| 5.  | 180                  | 8             | 9  | 0                   | 13                              | 55           | 4  | 30   | 12  | 17   | 0  | 364  | 2   | 2   |

## Lampiran B: Data Karakterisasi

## B.1. Hasil Karakterisasi EDX

B.1.1. TiO<sub>2</sub> Termodifikasi dengan *Loading Urea* 0%

## Area 1



SEMQuant results. Listed at 16:04:13 on 08/06/11  
 Operator: zakiyuddin  
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia  
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis  
 Spectrum label: 0632-SiO2-TiO2-1

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 5 iterations).  
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

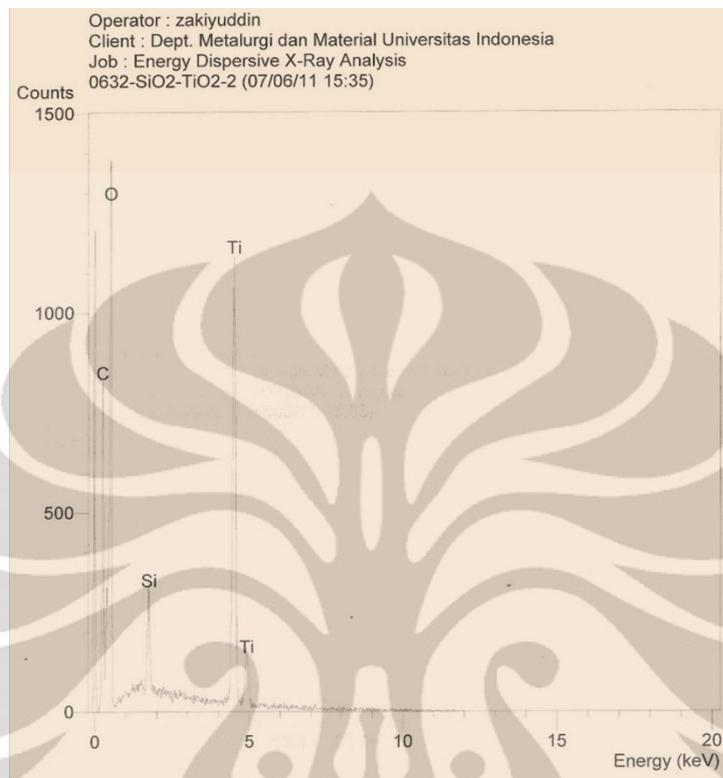
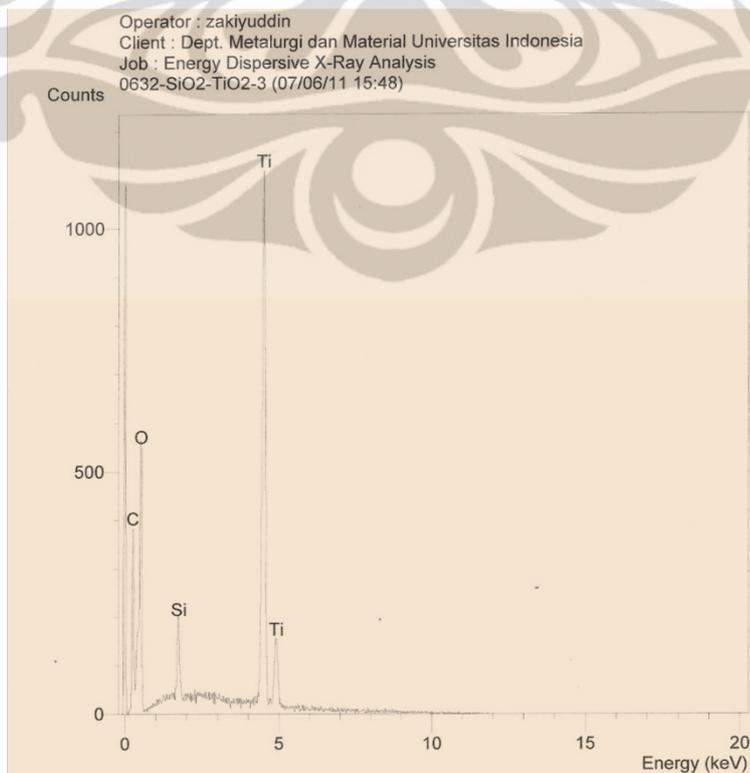
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
 O K AL2O3 20/05/11  
 Si K Jadeite 18/05/11  
 Ti K Titanium 18/05/11

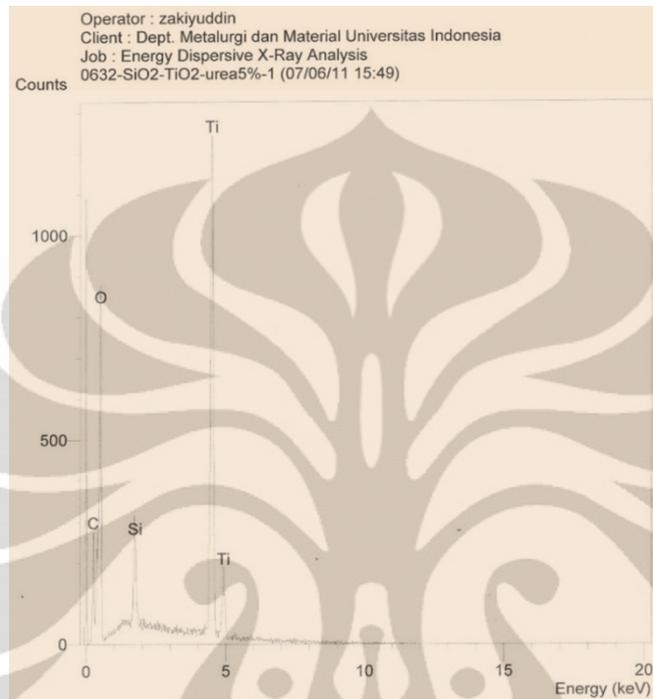
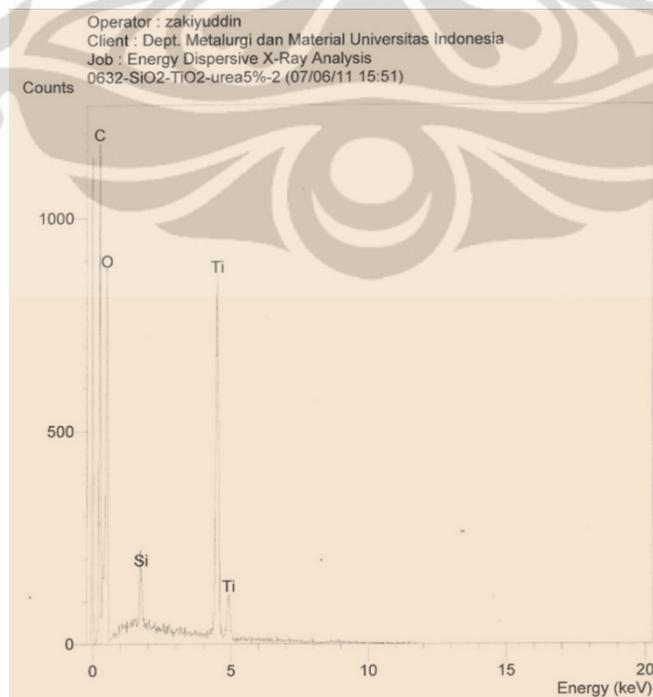
| Elmt  | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
|       | Type   | %       | %      |
| C K   | ED     | 1.57    | 2.75   |
| O K   | ED     | 60.87   | 79.82  |
| Si K  | ED     | 3.19    | 2.38   |
| Ti K  | ED     | 34.37   | 15.05  |
| Total |        | 100.00  | 100.00 |

\* = <2 Sigma

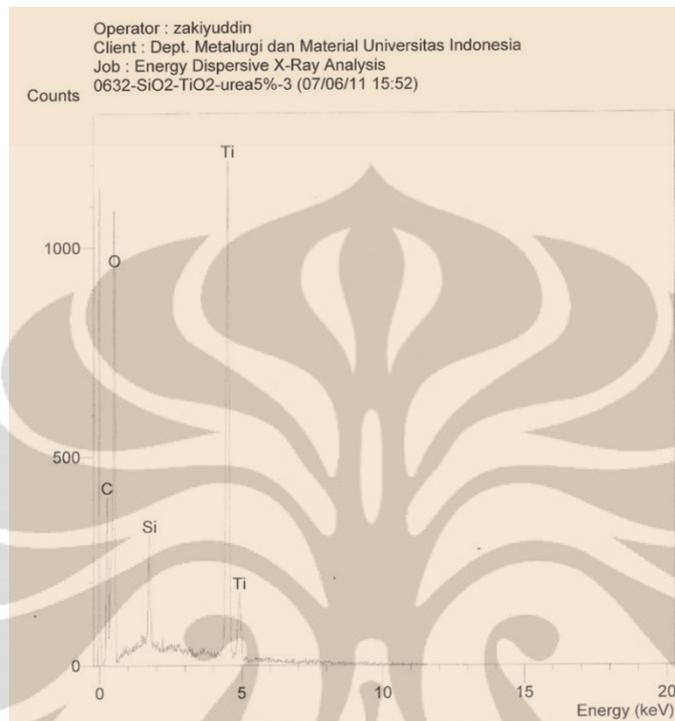
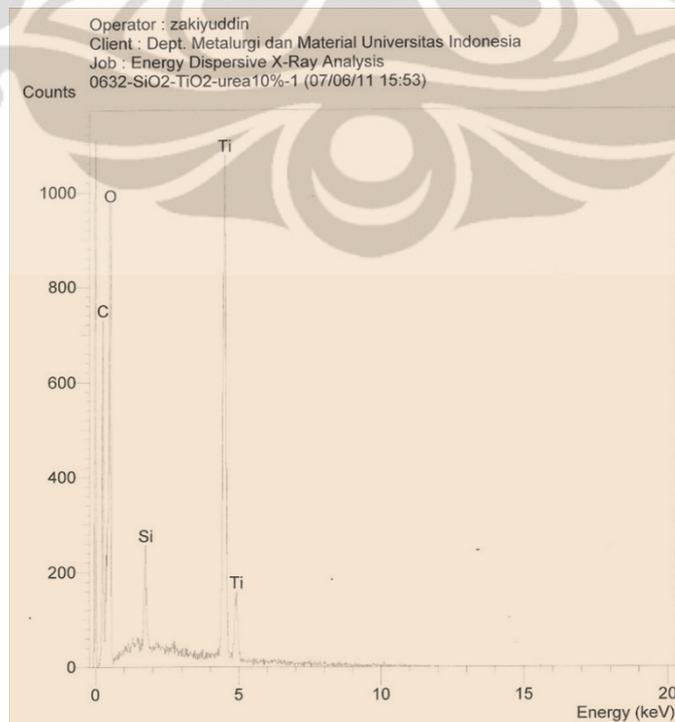
## Lampiran B: Data Karakterisasi (lanjutan)

**Area 2****Area 3**

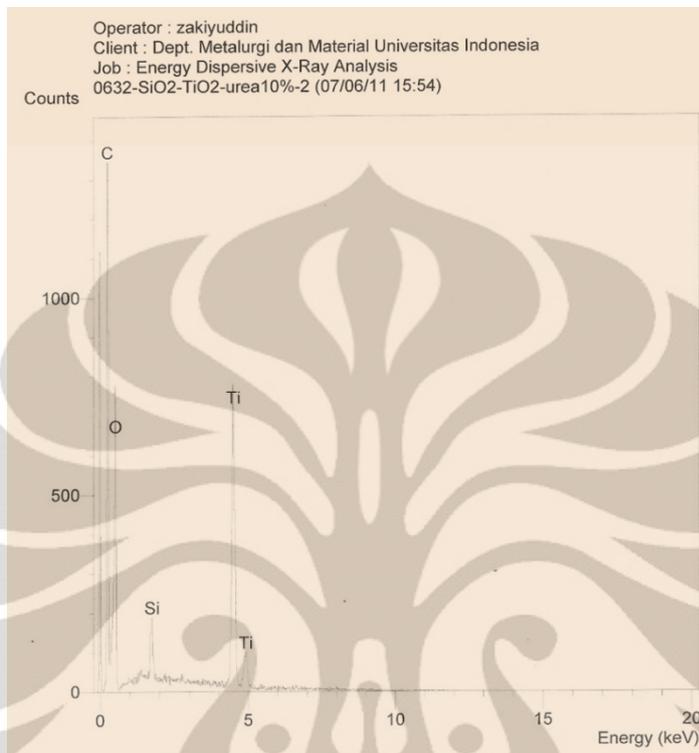
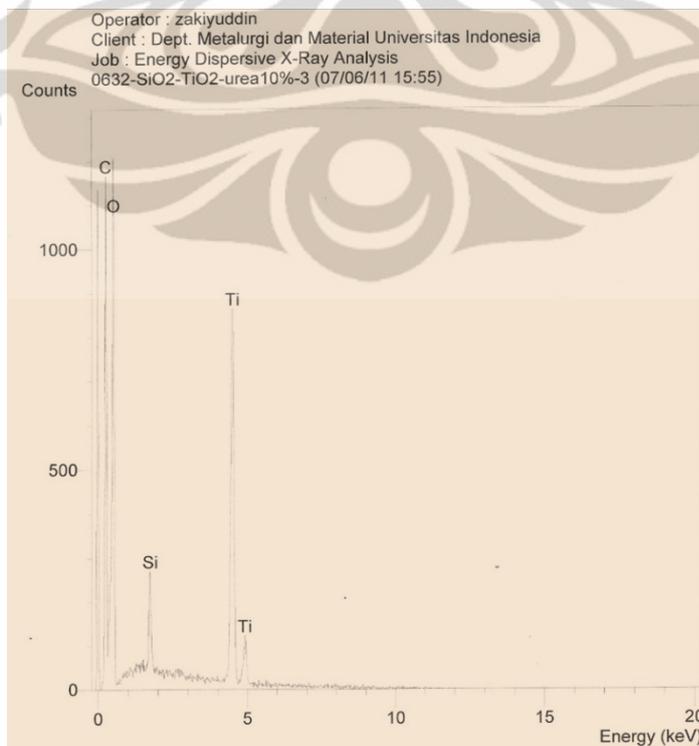
## Lampiran B: Data Karakterisasi (lanjutan)

**B.1.2. TiO<sub>2</sub> Termodifikasi dengan *Loading Urea* 5%****Area 1****Area 2**

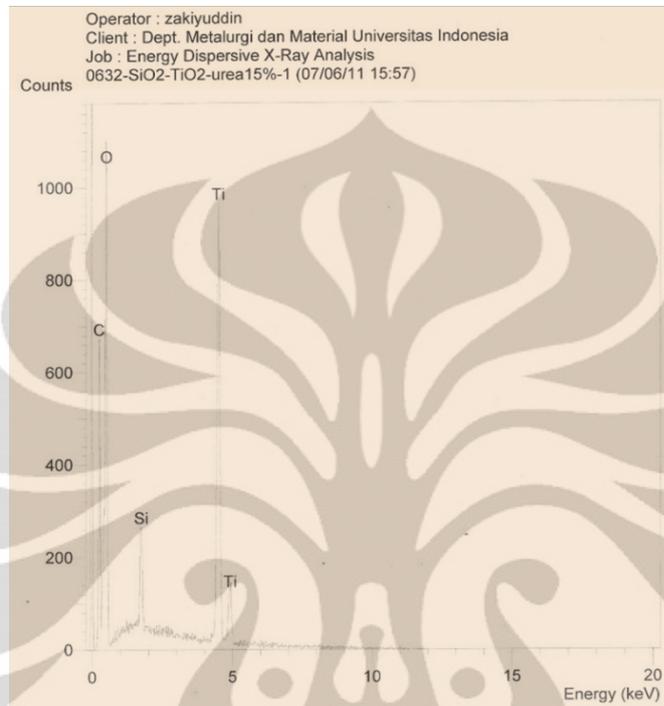
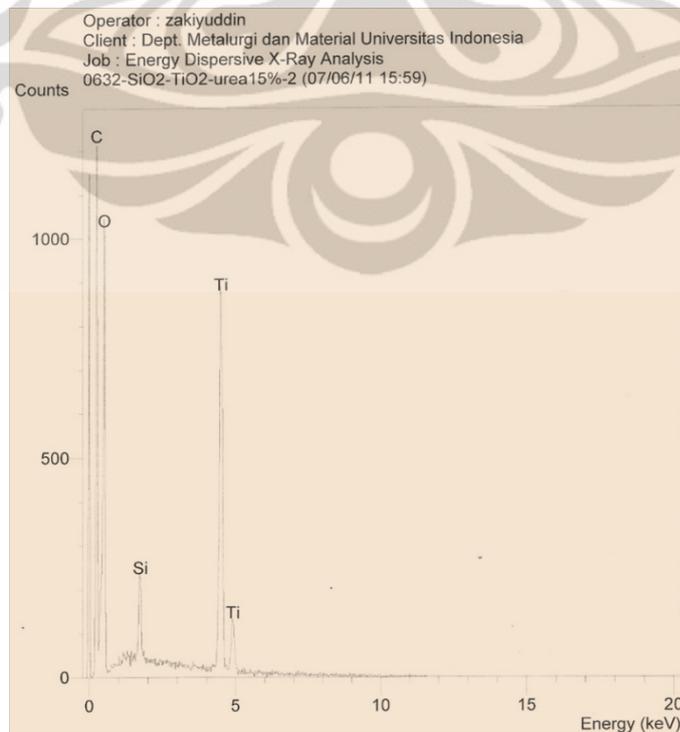
## Lampiran B: Data Karakterisasi (lanjutan)

**Area 3****B.1.3. TiO<sub>2</sub> Termodifikasi dengan *Loading Urea* 10%****Area 1**

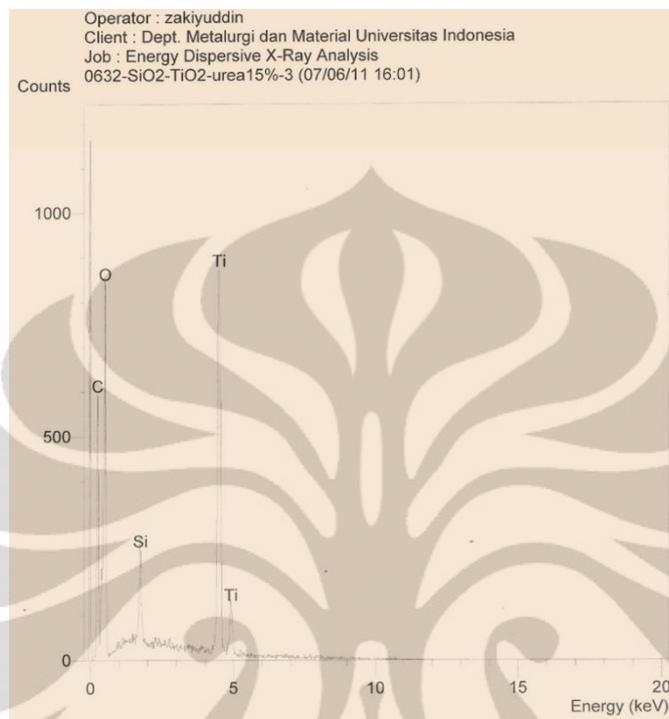
## Lampiran B: Data Karakterisasi (lanjutan)

**Area 2****Area 3**

## Lampiran B: Data Karakterisasi (lanjutan)

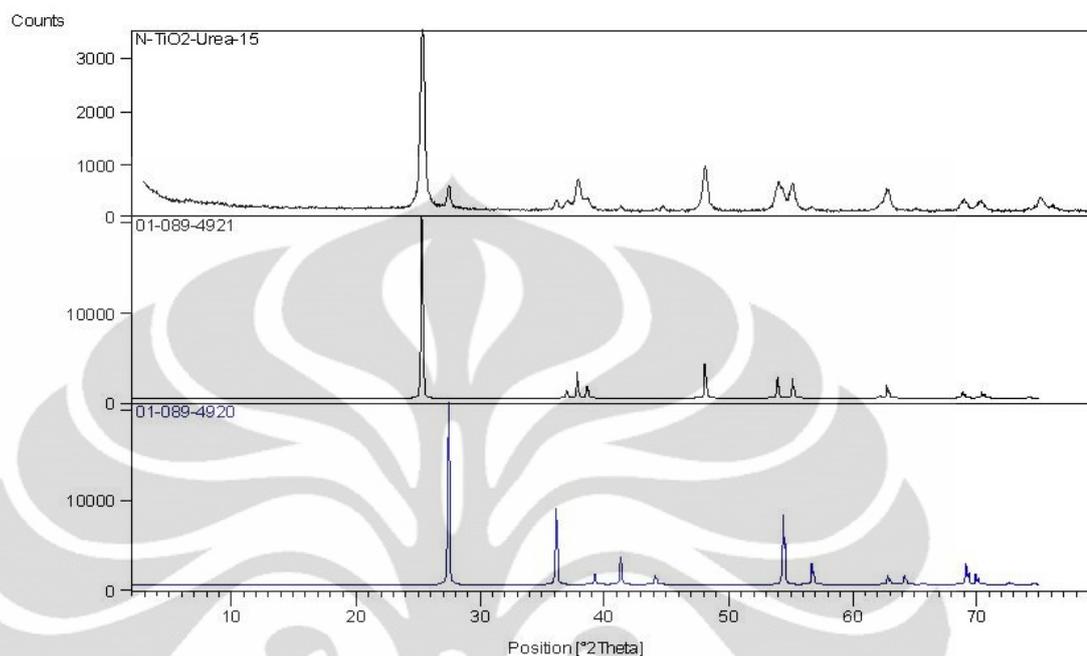
**B.1.4. TiO<sub>2</sub> Termodifikasi dengan *Loading Urea* 15%****Area 1****Area 2**

## Lampiran B: Data Karakterisasi (lanjutan)

**Area 2**

## Lampiran B: Data Karakterisasi (lanjutan)

## B.2. Hasil Karakterisasi XRD

Gambar B. 1. Peak Anatase dan Rutile pada TiO<sub>2</sub>

## Peak List:

| Pos. [°2Th.] | d-spacing [Å] | Height [cts] | Rel. Int. [%] | FWHM [°2Th.] | Area [cts*°2Th.] |
|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|------------------|
| 25.4089      | 3.50551       | 3376.15      | 100.00        | 0.2706       | 1081.45          |
| 27.5293      | 3.24012       | 428.49       | 12.69         | 0.1894       | 96.08            |
| 36.1658      | 2.48375       | 189.07       | 5.60          | 0.1353       | 30.28            |
| 37.0942      | 2.42369       | 189.78       | 5.62          | 0.2165       | 48.63            |
| 38.0000      | 2.36797       | 571.30       | 16.92         | 0.3247       | 219.60           |
| 38.7119      | 2.32605       | 220.88       | 6.54          | 0.2706       | 70.75            |
| 41.3538      | 2.18335       | 93.04        | 2.76          | 0.2165       | 23.84            |
| 44.7474      | 2.02534       | 88.41        | 2.62          | 0.1624       | 16.99            |
| 48.1887      | 1.88844       | 828.46       | 24.54         | 0.3788       | 371.52           |
| 54.0499      | 1.69668       | 555.82       | 16.46         | 0.1624       | 106.82           |
| 54.4076      | 1.68637       | 430.44       | 12.75         | 0.0812       | 41.36            |
| 55.2125      | 1.66368       | 518.66       | 15.36         | 0.2977       | 182.75           |
| 56.7558      | 1.62205       | 72.19        | 2.14          | 0.1624       | 13.88            |
| 62.7805      | 1.48011       | 394.20       | 11.68         | 0.2706       | 126.27           |
| 69.0487      | 1.36026       | 194.85       | 5.77          | 0.3247       | 74.90            |
| 70.4391      | 1.33678       | 183.80       | 5.44          | 0.3247       | 70.65            |
| 75.1191      | 1.26469       | 252.52       | 7.48          | 0.2977       | 88.98            |
| 76.1467      | 1.24913       | 100.28       | 2.97          | 0.3300       | 52.95            |

Perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan 2.11 berikut ini:

$$L = \left( \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \right)$$

dengan:

$\lambda$  = panjang gelombang radiasi sinar X-Ray (Cu K $\alpha$  = 0.154118 nm)

$K = 0.89$

$\beta$  = lebar dari setengah puncak gelombang tertinggi

$\theta$  = sudut pengukuran (sudut difraksi)

$\beta = 0,5 \times FWHM \rightarrow$  FWHM (pada puncak tertinggi)

$\beta = 0,5 \times 0,2706$

$\beta = 0,315$

$\beta(\text{radian}) = 0,315 \times \frac{\pi}{180^\circ}$

$\beta(\text{radian}) = 0,00236$

$\theta = \frac{25,41}{2}$

$\theta = 12,705^\circ$

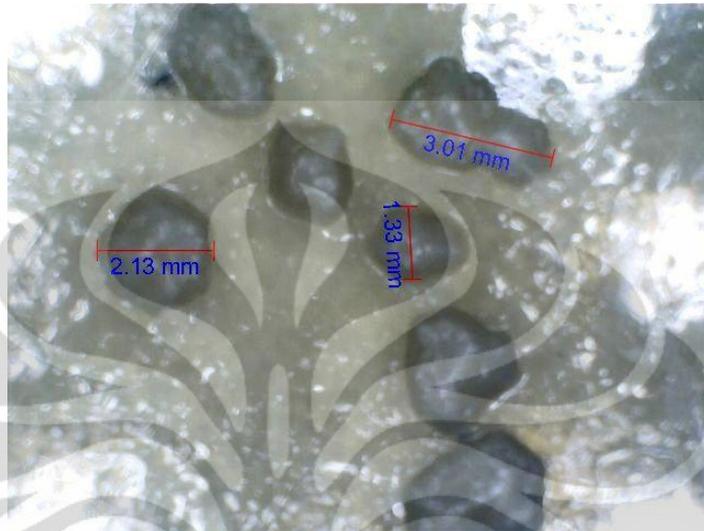
$$L = \left( \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \right)$$

$$L = \left( \frac{0,89 \times 0,154}{0,00236 \cos 12,705} \right)$$

$L = 59,534 \text{ nm}$

Dengan demikian, ukuran kristal TiO<sub>2</sub> adalah sebesar **59,534 nm**.

## Lampiran C: Dokumentasi Penelitian

C.1. Penampakan Koloni *M. globosa* di Bawah Mikroskop

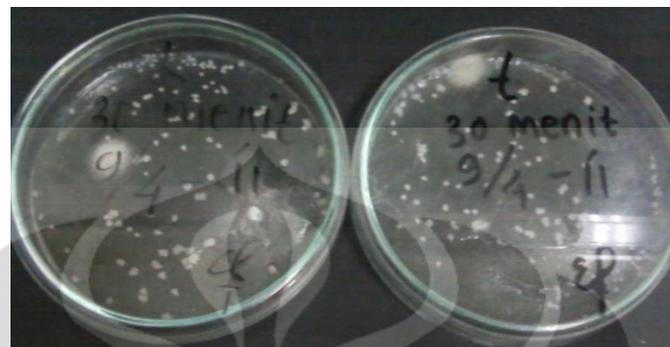
(a)



(b)

**Gambar C. 1.** Penampakan *M. globosa* di Bawah Mikroskop dengan Perbesaran (a) 20 kali dan (b) 400 kali

## Lampiran C: Dokumentasi Penelitian (lanjutan)

C.2. Contoh Hasil Percobaan Desinfeksi *M. globosa*

(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar C. 2.** Hasil Percobaan UV + TiO<sub>2</sub> pada Waktu (a) 30 menit, (b) 60 menit, (c) 120 menit, dan (d) 180 menit