



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
PROGRAM PASCASARJANA

Jalan Padang Selasa 524, Bukit Besar Palembang 30139  
Telepon (0711) 352132, 354222 Faksimili (0711) 317202, 320310  
Homepage: [www.pps.unsri.ac.id](http://www.pps.unsri.ac.id) Email: [ppsunsri@mail.pps.unsri.ac.id](mailto:ppsunsri@mail.pps.unsri.ac.id)

KEPUTUSAN  
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
NOMOR : 169 /UN9.2/DT/2016

tentang

PENGANGKATAN PROMOTOR DAN CO-PROMOTOR MAHASISWA  
PENDIDIKAN MAGISTER MENUJU DOKTOR UNTUK SARJANA UNGGUL (PMDSU)  
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA

DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA

- Menimbang : a. bahwa Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya mendapat kesempatan untuk mengeksplorasi dan mendidik sarjana unggul melalui Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU);  
b. bahwa dalam rangka kegiatan pembelajaran dan penelitian mahasiswa PMDSU, perlu dibimbing dan diarahkan sesuai dengan bidang ilmunya;  
c. bahwa sehubungan dengan pembimbingan, maka perlu ditetapkan dan ditugaskan dosen Promotor dan Co-Promotor sebagai pembimbingnya;  
d. bahwa sehubungan dengan butir a, b dan c diatas perlu diterbitkan keputusan sebagai pedoman dan landasan hukumnya.
- Mengingat : 1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;  
2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2012 tentang Pendidikan Tinggi;  
3. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi;  
4. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2012 tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia;  
5. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2015 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi;  
6. Keputusan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 334/M/KP/XI/2015 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Rektor Universitas Sriwijaya;  
7. Surat Dirjen Dikti Nomor 720/D/T/2007 tentang Ijin Penyelenggaraan Program Studi Ilmu Lingkungan (S3) pada Universitas Sriwijaya;  
8. Surat Dirjen Dikti nomor 207/E4.4/K/2015 tanggal 23 April 2015 perihal media sosialisasi Program Beasiswa Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) Tahun 2015;  
9. Keputusan Rektor Unsri Nomor 3083/UN9/KP/2016, tentang Perpanjangan Masa Tugas Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya Masa Tugas 2012—2016.

MEMUTUSKAN

- Menetapkan : KEPUTUSAN DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA TENTANG PENGANGKATAN PROMOTOR DAN CO-PROMOTOR MAHASISWA PENDIDIKAN MAGISTER MENUJU DOKTOR UNTUK SARJANA UNGGUL (PMDSU) PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS SRIWIJAYA;
- KESATU : Menunjuk Promotor dan Co-Promotor mahasiswa Program Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) sebagai berikut:

NAMA/NIM	NAMA DOSEN
Chanel Tri Handoko 20013681621017	Promotor : Prof. Dr. Fakhili Gulo Co-Promotor I : Prof. Dr. H. M. Djoni Bustan, M.Eng. Co-Promotor II : Dr. Bambang Yudono, M.Sc.

- KEDUA : Segala biaya yang timbul akibat dikeluarkannya surat keputusan ini, dibebankan pada anggaran belanja Universitas Sriwijaya.
- KETIGA : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dengan ketentuan segala sesuatu akan diubah dan/atau diperbaiki sebagaimana mestinya apabila ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.



Ditetapkan di : Palembang  
Pada tanggal : 26 September 2016  
Direktur,

Prof. Dr. Hilda Zulkifli, M.Si., DEA.  
NIP 19530414 197903 2 001

Tembusan :

1. Rektor (sebagai laporan)
2. Wadir I & Wadir II
3. Ketua Program Doktor (S3) Ilmu Lingkungan
4. Promotor dan Co-Promotor
5. Yang bersangkutan

## **DISERTASI**

# **PENGEMBANGAN FOTOKATALIS BERBASIS TITANIUM OKSIDA UNTUK REDUKSI GAS KARBON DIOKSIDA**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Doktor Ilmu Lingkungan**



**CHANEL TRI HANDOKO  
NIM. 20013681621017**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

# PENGEMBANGAN FOTOKATALIS BERBASIS TITANIUM OKSIDA UNTUK REDUKSI GAS KARBON DIOKSIDA

## LAPORAN AKHIR DISERTASI

Oleh :

**CHANEL TRI HANDOKO**  
20013681621017

Palembang, 16 April 2019

Promotor

Prof. Dr. Fakhili Gulo  
NIP. 196412091991021001

Co Promotor I

Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng.  
NIP. 195603071981031010

Co Promotor II

Dr. Bambang Yudono, M.Sc.  
NIP. 196102071989032004

Mengetahui

Direktorat Pascasarjana Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P.  
NIP. 196101141990011001

## HALAMAN PERSETUJUAN

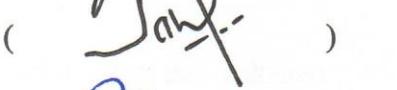
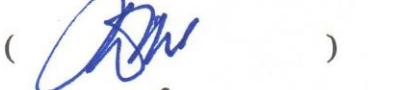
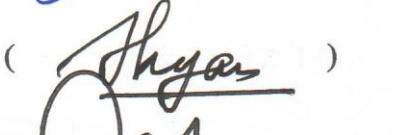
Karya tulis ilmiah berupa Laporan Disertasi ini dengan judul "Pengembangan Fotokatalis Berbasis Titanium Oksida untuk Reduksi Gas Karbon Dioksida" telah dipertahankan di hadapan tim penguji karya tulis ilmiah Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya pada tanggal 8 April 2019.

Palembang, 8 April 2019

Tim penguji karya tulis ilmiah berupa Laporan Disertasi

Promotor:

1. Prof. Dr. Fakhili Gulo  
NIP. 196412091991021001
2. Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng.  
NIP. 195603071981031010
3. Dr. Bambang Yudono, M.Sc.  
NIP. 196102071989032004

(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )

Penguji:

1. Saharman Gea, S.Si., M.Si., Ph.D.  
NIP. 196811101999031001
2. Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P.  
NIP. 196101141990011001
3. Dr. Suheryanto, M.Si.  
NIP. 196006251989031006
4. Dr. rer. nat. Risfidian Mohadi, S.Si., M.Si.  
NIP. 197711272005011003
5. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197208092000032001
6. Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.  
NIP. 197002231995121002

Mengetahui,  
Direktur Pascasarjana Universitas Sriwijaya      Ketua Program Studi S3 Ilmu Lingkungan



Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P.  
NIP. 196101141990011001



Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si.  
NIP. 196202021991032001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Chanel Tri Handoko  
NIM : 20013681621017  
Judul : Pengembangan Fotokatalis Berbasis Titanium Oksida untuk Reduksi Gas Karbon Dioksida

Menyatakan bahwa Disertasi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi oleh Tim Promotor dan Ko-Promotor serta bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 8 April 2019

Chanel Tri Handoko  
NIM. 20013681621017

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Chanel Tri Handoko  
NIM : 20013681621017  
Judul : Pengembangan Fotokatalis Berbasis Titanium Oksida untuk Reduksi Gas Karbon Dioksida

Memberikan izin kepada Promotor dan Ko-Promotor serta Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik. Apabila dalam waktu (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya, dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Promotor sebagai penulis korespondensi (*Corresponding Author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 8 April 2019



Chanel Tri Handoko  
NIM. 20013681621017

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga laporan disertasi dengan judul “Pengembangan Fotokatalis Berbasis Titanium Oksida untuk Reduksi Gas Karbon Dioksida” dapat terselesaikan dengan baik.

Selama penulisan laporan disertasi ini penulis banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih khususnya kepada yang terhormat:

1. Prof. Dr. Fakhili Gulo selaku Promotor, Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng. selaku Ko-promotor I, dan Dr. Bambang Yudono, M.Sc. selaku Ko-Promotor II.
2. Prof. Dr. Jennifer Strunk, Dr. Tim Peppel, Dr. Nikolaos Moustakas, dan Dr. Marcus Klahn yang membantu selama penulis melaksanakan penelitian di LIKAT Rostock, Jerman.
3. Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaf, MSCE selaku rektor Universitas Sriwijaya.
4. Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
5. Prof. Dr. Ir. Nurhayati, M.Si. dan almarhum Prof. Dr. Ir. Robiyanto Hendro Susanto, M.Agr.Sc. selaku Ketua Program Studi S3 Ilmu Lingkungan Universitas Sriwijaya Palembang.
6. Ibu Merza Agmalinda yang senantiasa membantu dalam proses administrasi di bidang akademik.
7. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memfasilitasi saya selama menempuh pendidikan S3 di Universitas Sriwijaya.

Penulis berharap semoga laporan disertasi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang kimia material dan lingkungan.

Palembang, 8 April 2019

Penulis

## RINGKASAN

PENGEMBANGAN FOTOKATALIS BERBASIS TITANIUM OKSIDA  
UNTUK REDUKSI GAS KARBON DIOKSIDA  
Karya tulis ilmiah berupa Disertasi, 8 April 2019

Chanel Tri Handoko; dibimbing oleh Fakhili Gulo, M. Djoni Bustan, dan Bambang Yudono.

Development of Titanium Oxide - Based Photocatalyst for Carbon Dioxide Reduction.

xxi + 149 halaman, 5 tabel, 47 gambar, 7 lampiran

## RINGKASAN

Titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan material fotokatalis yang potensial digunakan untuk mengkonversi  $\text{CO}_2$  menjadi produk hidrokarbon yang bernilai ekonomis. Aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  perlu ditingkatkan, salah satunya dengan pendepositan nanopartikel perak. Tujuan penelitian ini adalah mensintesis nanopartikel perak dan mengetahui sifat nanopartikel perak; memodifikasi material fotokatalis  $\text{TiO}_2$  dengan pendepositan nanopartikel perak dan mengetahui sifat material  $\text{TiO}_2$  termodifikasi; dan mereduksi gas  $\text{CO}_2$  menggunakan material  $\text{TiO}_2$  termodifikasi nanopartikel perak. Hasil penelitian menunjukkan nanopartikel perak ( $\text{Ag-np}$ ) berdiameter 3-21 nm berhasil disintesis dengan metode *green synthesis*. Nanopartikel perak yang disintesis mempunyai nilai serapan pada panjang gelombang 410-425 nm. Selanjutnya,  $\text{TiO}_2$  berhasil dimodifikasi dengan nanopartikel perak ( $\text{Ag}/\text{TiO}_2$ ) menggunakan metode *wet deposition*. Material  $\text{Ag}/\text{TiO}_2$  mengadopsi struktur kristal anatase serta terdiri dari spesies  $\text{Ag}^0$  dan  $\text{Ag}^{1+}$ ; memiliki pergeseran serapan di daerah sinar tampak; serta memiliki morfologi *spherical*. Nanopartikel perak dengan diameter kurang dari 50 nm ditemukan terdeposit pada permukaan  $\text{TiO}_2$ . Perlakuan pemanasan  $\text{Ag}/\text{TiO}_2$  menggunakan gas hidrogen menghasilkan material komposit  $\text{Ag}^0/\text{TiO}_2$ . Reduksi menggunakan gas hidrogen berhasil memperkecil energi celah material menjadi 3,0 eV dan juga menghasilkan fenomena *strong metal support interaction* (SMSI). Pendepositan nanopartikel perak berhasil meningkatkan aktivitas fotokatalisis dalam reduksi  $\text{CO}_2$ . Konsentrasi optimal pendepositnan nanopartikel perak adalah 2% dan aktivitas fotokatalisisnya semakin menurun seiring penambahan konsentrasi perak. Material  $\text{Ag}/\text{TiO}_2$  berhasil mereduksi  $\text{CO}_2$  dan menghasilkan  $\text{CH}_4$  sebanyak 19,80 ppm setelah penyinaran selama 6 jam. Peningkatan aktivitas ini merupakan hasil efek sinergis antara *electron trapping* dan *localized surface plasmon resonance (LSPR)* pada nanopartikel perak yang terdeposit di permukaan  $\text{TiO}_2$ . Material komposit yang terdiri dari  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ag}^0$ , dan  $\text{Ag}^{1+}$  memiliki aktivitas

fotoreduksi CO<sub>2</sub> lebih baik daripada material komposit antara Ag<sup>0</sup> dan TiO<sub>2</sub>. Pengembangan teknologi fotoreduksi CO<sub>2</sub> dalam skala besar dapat diintegrasikan dengan perangkat *direct air capture* (DAC), *solar chimney power plant* (SCPP), dan material fotokatalis yang dilapiskan pada perangkat SCPP. Kajian perhitungan secara lebih mendalam mengenai aspek ekonomis, investasi, dan efisiensi sistem integrasi tersebut masih diperlukan untuk mewujudkan pengaplikasian teknologi *artificial photosynthesis* dalam skala besar.

**Kata Kunci** : karbon dioksida, fotokatalis, reduksi, titanium oksida, nanopartikel perak, *artificial photosynthesis*

Kepustakaan : 162 (1972-2019)

## SUMMARY

DEVELOPMENT OF TITANIUM OXIDE - BASED PHOTOCATALYST FOR CARBON DIOXIDE REDUCTION.

Scientific paper in the form of Dissertation, 8 April 2019

Chanel Tri Handoko; supervised by Fakhili Gulo, M. Djoni Bustan, and Bambang Yudono.

Pengembangan Fotokatalis Berbasis Titanium Oksida untuk Reduksi Gas Karbon Dioksida

xvi + 149 pages, 5 tables, 47 figures, 7 attachments

Titanium oxide ( $\text{TiO}_2$ ) is a potential photocatalyst material for carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) conversion into valuable hydrocarbon products. One way to improve the photocatalytic activity of  $\text{TiO}_2$  is by depositing silver nanoparticle. This study was to synthesize silver nanoparticle and to determine the properties of the silver nanoparticle; to modify  $\text{TiO}_2$  by depositing silver nanoparticle and to study the properties of modified  $\text{TiO}_2$ ; and to reduce  $\text{CO}_2$  using silver-modified  $\text{TiO}_2$  material. The results showed that the silver nanoparticle ( $\text{Ag-np}$ ) with a diameter of 3-21 nm was successfully synthesized using a green synthesis method. The prepared  $\text{Ag-np}$  had absorption at 410-425 nm. Furthermore,  $\text{TiO}_2$  was successfully modified with  $\text{Ag-np}$  ( $\text{Ag/TiO}_2$ ) using a wet deposition method. The  $\text{Ag/TiO}_2$  material adopted anatase crystal structure and consisted of  $\text{Ag}^0$  and  $\text{Ag}^{1+}$  species; and had a red-shift absorption in the visible light region.  $\text{Ag-np}$  with a diameter less than 50 nm was found to be deposited on the  $\text{TiO}_2$  surface. The hydrogen treatment of  $\text{Ag/TiO}_2$  leads in decreasing the band gap energy of material to 3.0 eV. The  $\text{Ag/TiO}_2$  material was successfully reduced  $\text{CO}_2$  gas and produced 19.80 ppm  $\text{CH}_4$  after 6 hours of irradiation. The optimal loading of  $\text{Ag-np}$  was 2%. This photocatalytic improvement was the result of a synergistic effect between electron trapping and localized surface plasmon resonance (LSPR) of silver species deposited on  $\text{TiO}_2$ . The materials containing mixed valence of silver species had better photocatalytic activity than the materials containing  $\text{Ag}^0$  species. Sinergies between direct air capture (DAC), solar chimney power plant (SCPP), and photocatalyst can be applied for large-scale artificial photosynthesis. However, further studies regarding efficiency and investation of this system should be carried out.

**Keywords :** carbon dioxide, photocatalyst, reduction, titanium oxide, silver nanoparticles, artificial photosynthesis

References : 162 (1972-2019)