

**KINERJA KATALITIK Ru/TiO₂ DAN Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) PADA
REAKSI HIDROGENOLISIS SELEKTIF FURFURIL ALKOHOL
MENJADI 1,5-PENTANADIOL**

**THEA SEVENTINA DESIANI BODOI
NIM. 24210363 2 0006**



**PROGRAM STUDI MAGISTER
KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN IPA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2026**

**KINERJA KATALITIK Ru/TiO₂ DAN Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) PADA
REAKSI HIDROGENOLISIS SELEKTIF FURFURIL ALKOHOL
MENJADI 1,5-PENTANADIOL**

**THEA SEVENTINA DESIANI BODOI
NIM. 24210363 2 0006**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
MAGISTER SAINS
Program Studi S2 Kimia**

**PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN IPA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2026**

Judul Tesis : **Kinerja Katalitik Ru/TiO₂ dan Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) pada Reaksi Hidrogenolisis Selektif Furfuril Alkohol Menjadi 1,5-Pentanadiol**
Nama : Thea Seventina Desiani Bodoi
NIM : 24210363 2 0006

disetujui,

Komisi Pembimbing



Prof. Rodiansono, S.Si., M.Si., Ph.D
Ketua



Utami Irawati, S.Si., M.ES., Ph.D
Anggota I

diketahui,

Koordinator Prodi S2 Kimia

Dekan Fakultas MIPA ULM



Utami Irawati, S.Si., M.ES., Ph.D Prof. Ir. Sunardi, S.Si., M.Sc., Ph.D
NIP. 198102142005012002 NIP. 197708202005011 006

Tanggal Lulus: 23 Juni 2026

Tanggal Wisuda:



SERTIFIKAT

Sertifikat ini diberikan

kepada :

THEA SEVENTINA DESIANI BODOI

2421036320006

S2 Kimia

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Kinerja Katalitik Ru/TiO₂ dan Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) pada Reaksi Hidrogenolisis
Selektif Furfuril Alkohol Menjadi 1,5-Pentanadiol

Telah dilakukan pengecekan uji kemitipan Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa dengan indeks sebesar :

7 %

Banjarbaru, 18 Mei 2026

Mengetahui,

Editor Journal of Natural Scientiae,

Koordinator Journal of Natural Scientiae

Kholifatu Rosyidah

Sudarningsih

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Thea Seventina Desiani Bodoi
NIM : 24210363 2 0006
Program Studi : Magister Kimia
Fakultas : Matematika dan IPA
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Tesis : **Kinerja Katalitik Ru/TiO₂ dan Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) pada Reaksi Hidrogenolisis Selektif Furfuril Alkohol Menjadi 1,5-Pentanadiol**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa naskah Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/acuan dan dicantumkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tesis ini hasil jiplakan, plagiat maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarbaru, 1 Mei 2026
Yang membuat pernyataan



Thea Seventina Desiani Bodoi
NIM 24210363 2 0006

RINGKASAN

Thea Seventina Desiani Bodoi. 2026. Kinerja Katalitik Ru/TiO₂ dan Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) pada Reaksi Hidrogenolisis Selektif Furfuril Alkohol Menjadi 1,5-Pentanadiol. Pembimbing: Prof. Rodiansono, S.Si., M.Si., Ph.D; Utami Irawati, S.Si., M.ES., Ph.D.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja katalitik dari dua sistem katalis yaitu Ru/TiO₂ dan Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ terhadap reaksi hidrogenolisis selektif furfuril alkohol (FFalc) menjadi 1,5-pentanadiol (1,5-PeD). Pengembangan desain katalis selektif terhadap pembentukan 1,5-PeD masih menjadi tantangan karena reaktivitas senyawa furan, kompleksitas jalur reaksi, dan pembentukan produk samping. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan membandingkan sistem katalis satu logam berbasis Ru dan dua logam berbasis Ru-Sn untuk memahami interaksi logam-pengemban terhadap sifat dan kinerja katalis. Kedua katalis ini disintesis dengan metode kopresipitasi-hidrotermal dan diaktivasi dengan gas H₂. Karakterisasi katalis dilakukan menggunakan difraksi sinar-X (XRD), reduksi hidrogen pada suhu terprogram (H₂-TPR), desorpsi amonia pada suhu terprogram (NH₃-TPD), dan adsorpsi piridin-spektroskopi total reflektan teratenuasi-inframerah (Py-ATR-IR). Reaksi katalitik hidrogenolisis FFalc dilakukan dalam reaktor sistem statis (*batch*) menggunakan TAIATSU Techno Jepang.

Hasil karakterisasi dari sistem katalis berbasis logam Ru, baik melalui perbedaan fase TiO₂ maupun penambahan logam kedua dan pengemban, menunjukkan perbedaan sifat fisikokimia. Perbedaan ini diduga berkaitan dengan fenomena *strong metal-support interaction* (SMSI) yang lebih dominan pada katalis Ru/TiO₂ (A) anatase dibandingkan katalis Ru/TiO₂ (R) rutile, begitu juga ketika penambahan logam Sn dan campuran pengemban ZrO₂-TiO₂ (A) yang dikalsinasi pada suhu tinggi. Selain itu, fenomena SMSI juga memengaruhi sifat reduksi katalis, baik pada sistem katalis satu logam maupun dua logam yang mengindikasikan adanya interaksi kuat antara logam aktif dan pengemban. Di sisi lain, variasi komposisi katalis juga memengaruhi distribusi dan kekuatan situs asam, di mana katalis Ru/TiO₂ menunjukkan keberadaan situs asam Brønsted dan asam Lewis, sedangkan katalis Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) lebih didominasi oleh situs asam Lewis. Berdasarkan dari hasil karakterisasi, perbedaan sifat reduksi dan keasaman ini menunjukkan adanya sinergi antara logam aktif dan pengemban yang berkontribusi terhadap perbedaan jalur reaksi dan selektivitas produk.

Hasil uji katalitik menunjukkan bahwa perbedaan sifat fisikokimia sistem katalis berbasis logam Ru secara signifikan memengaruhi jalur reaksi dan selektivitas pada reaksi hidrogenolisis FFalc. Sistem katalis berbasis logam Ru dengan fase dan komposisi berbeda mampu menghasilkan distribusi produk yang berbeda. Sebagai contoh, katalis Ru/TiO₂ (R) secara selektif mengkatalisis penataan-ulang cincin furan menjadi produk siklopentanon (CPO) atau siklopentanol (CPL) sebagai produk utama, sedangkan katalis Ru/TiO₂ (A) menunjukkan selektivitas tinggi terhadap produk 1,5-PeD. Perbedaan ini menunjukkan bahwa fase TiO₂ berperan penting dalam menentukan arah jalur reaksi. Katalis berbasis logam Ru pada pengemban oksida logam menghasilkan produk tetrahidrofurfuril alkohol (THFalc) sebagai produk utama daripada produk 1,5-PeD, sementara pengemban ZrO₂-TiO₂(A) pada katalis Ru-Sn menunjukkan

peningkatan selektivitas terhadap 1,5-PeD. Oleh karena itu, kombinasi logam aktif, struktur pengemban, dan kondisi reaksi berperan penting dalam mengarahkan selektivitas produk.

SUMMARY

Thea Seventina Desiani Bodoi. 2026. Catalytic Performance of Ru/TiO₂ and Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) for the Selective Hydrogenolysis of Furfuryl Alcohol to 1,5-Pentanediol. Advisors: Prof. Rodiansono, S.Si., M.Si., Ph.D; Utami Irawati, S.Si., M.E.S., Ph.D.

This research aims to evaluate the catalytic performances of two systems catalysts Ru/TiO₂ and Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) for the selective hydrogenolysis of furfuryl alcohol (FFalc) to 1,5-pentanediol (1,5-PeD). The development of selective catalyst designs for the formation of 1,5-PeD remains a challenge due to the reactivity of furan ring, the complexity of reaction pathways, and the formation of side products. Therefore, this research was conducted with comparison of Ru-based monometallic catalysts and Ru-Sn-based bimetallic catalysts to understand the interaction of metal-support toward properties and the catalytic performance. Both catalysts were synthesised via coprecipitation-hydrothermal methods and reduced under H₂ stream. The characterisation of the catalyst was conducted by means of X-ray diffraction (XRD), hydrogen-temperature programmed reduction (H₂-TPR), ammonia-temperature-programmed desorption (NH₃-TPD), and pyridine adsorbed-attenuated total reflectance-infrared spectroscopy (Py-ATR-IR). The catalytic reaction of FFalc was carried out in a static system (batch) reactor using TAIATSU Techno Japan.

The characterization results of Ru-based catalyst system, both phase differences of TiO₂, additions of a second metal and support, show great differences in physicochemical properties. The differences is suspected to be related to the strong metal-support interaction (SMSI) phenomena, which is more dominant in the Ru/TiO₂ anatase (A) than the Ru/TiO₂ (R) rutile catalysts, as well as when adding Sn metal and a ZrO₂-TiO₂ (A) support calcined at high temperatures. In addition, the SMSI phenomenon affects the reduction properties of catalyst, both in monometallic and bimetallic catalyst systems, indicating a strong interaction between the active metal and the support. On the other hand, the variation of catalyst composition also affects the distribution and strength of acid sites, where the Ru/TiO₂ catalysts show the presence of Brønsted acid and Lewis acid sites, while the Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) is dominated by Lewis acid sites.

The results of the catalytic performance showed that the differences of physicochemical properties of the Ru-based catalyst systems significantly affect the reaction pathway and selectivity in the hydrogenolysis reaction of FFalc. The Ru-based catalyst systems with different phases and compositions is able to produce difference product distributions. For instance, the Ru/TiO₂ (R) catalyst selectively catalysed the furan ring rearrangement to cyclopentanone (CPO) or cyclopentanol (CPL) as the main product, while the Ru/TiO₂ (A) catalyst shows high selectivity toward 1,5-PeD. This difference indicates that the TiO₂ phase plays an important role in determining the direction of the reaction pathway. On the other hand, the Ru-based catalysts supported on metal oxide produced tetrahydrofurfuryl alcohol (THFalc) as the main product instead of 1,5-PeD, while the support of ZrO₂-TiO₂ (A) on Ru-Sn catalyst showed the selectivity of 1,5-PeD. Therefore, the combination of active metal, support structure, and reaction conditions play an important role in directing the product selectivity.



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MAGISTER KIMIA**

Alamat: Jl. Jend. A. Yani Km. 36 Banjarbaru Kalimantan Selatan 70714
Telp/Fax (0511) 4773112 Laman: <https://kimia.fmipa.ulm.ac.id>; Email: s2kimia@ulm.ac.id

SURAT KETERANGAN

No: 012/UN8.1.28.1.9/PS/V/2026

Bersama ini kami menerangkan bahwa Ringkasan Bahas Inggris dari Tesis yang berjudul "*Catalytic Performance of Ru/TiO₂ and Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) for the Selective Hydrogenolysis of Furfuryl Alcohol to 1,5-Pentanediol*" yang disusun oleh

Nama	: THEA SEVENTINA DESIANI BODOI
NIM	: 24210363 2 0006
Program Studi	: Magister Kimia
Fakultas	: MIPA
Perguruan Tinggi	: Universitas Lambung Mangkurat

telah diperiksa dan diverifikasi bahwa Bahasa Inggris yang digunakan sesuai dengan makna dari Abstrak Bahasa Indonesia yang ditulis oleh mahasiswa yang bersangkutan (abstrak terlampir)

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya

12 Mei 2026,
Koordinator Prodi Magister Kimia

UTAMI IRAWATI
NIP. 198102142005012002

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Thea Seventina Desiani Bodoi lahir di Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan pada tanggal 17 Desember 2001. Thea adalah anak pertama dari 4 (empat) bersaudara. Ayahnya bernama Henri Juni Bodoi dan Ibunya bernama Sarinati. Thea menempuh pendidikan di Paud Joyce Banjarbaru Tahun 2004-2005, TK Joyce Banjarbaru pada Tahun 2006-2007, SD Sanjaya Banjarbaru Tahun 2008-2014, SMPN 2 Banjarbaru Tahun 2014-2017, SMAN 4 Banjarbaru Tahun 2017-2020, dan S1 Kimia FMIPA ULM pada Tahun 2020-2024. Pekerjaan sebagai tentor les privat dari tahun 2024-sekarang.

Thea Seventina Desiani Bodoi

PRAKARTA

Pertama-tama penulis panjatkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas penyertaan-Nya selama proses pembuatan laporan tesis ini dengan Anugerah dan Hikmat-Nya. Laporan tesis ini berjudul “Kinerja Katalis Ru/TiO₂ dan Ru-Sn/ZrO₂-TiO₂ (A) pada Reaksi Hidrogenolisis Selektif Furfuril Alkohol Menjadi 1,5-Pentanadiol” dan bertujuan sebagai panduan bagi penulis untuk menyelesaikan penelitian tesis.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua rekan-rekan yang berpartisipasi dalam proses pembuatan laporan tesis ini serta dukungan yang telah diberikan. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendukung dengan Doa dan motivasi.
2. Prof. Rodiansono, S.Si., M.Si. Ph.D selaku dosen pembimbing pertama.
3. Utami Irawati, S.Si., M.ES., Ph.D selaku Koordinator Program Studi Magister Kimia dan dosen pembimbing kedua.
4. Bapak/Ibu Dosen Kimia FMIPA ULM yang telah memberikan pengajaran dan dukungan.
5. LPDP melalui skema BRIN-RIIM2 (No. 79/IV/KS/11/2022), DRPTM-Kemendiktisaintek melalui skema Riset Fundamental (No. 056/E5/PG.02.00.PL/2024), LPPM-ULM melalui skema Riset Internal Fundamental (No. 1878/UN8.2/PG/2025), dan Penelitian Tesis Magister (No. 263/UN8.2/PG/2026) atas bantuan pendanaan riset dan pembelian bahan serta analisis karakterisasi.
6. Para rekan seperjuangan di Tim riset IMCatRG Angkatan 2023-2025 dan S2 Kimia Angkatan 2024 yang selalu memberikan semangat dan bantuan.
7. Para sahabat karib saya yang selalu memberikan semangat dalam mendukung mimpi saya.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan tesis ini masih ada kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan koreksi yang membangun dari para pembaca agar laporan tesis dapat disempurnakan kembali.

Banjarbaru, 1 Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SERTIFIKAT UJI PLAGIASI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vii
SURAT KETERANGAN RINGKASAN TESIS BAHASA INGGRIS	viii
RIWAYAT HIDUP PENULIS	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Katalis Heterogen	5
2.2 Sistem Katalis Satu Logam dan Dua Logam	5

2.3 Sistem Pengemban Katalis	7
2.4 Reaksi Hidrogenasi dan Hidrogenolisis pada Senyawa Furan.....	8
2.5 Aplikasi Sistem Katalis Heterogen untuk konversi 1,2-PeD dan 1,5-PeD.....	10
2.6 <i>Strong Metal–Support Interaction (SMSI)</i>	12
III. METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Waktu, Tempat, dan Objek Penelitian	13
3.1.1 Waktu Penelitian.....	13
3.1.2 Tempat Penelitian	13
3.1.3 Objek Penelitian.....	13
3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian.....	13
3.2.1 Peralatan Penelitian.....	13
3.2.2 Bahan Penelitian	14
3.3 Prosedur Penelitian	14
3.3.1 Katalis Satu Logam Ru/TiO ₂	14
3.3.2 Katalis Dua Logam Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A)	16
3.3.2.1 Sintesis Pengemban ZrO ₂ -TiO ₂ (A)	16
3.3.2.2 Sintesis Katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A)	16
3.3.3 Reaksi Katalitik.....	18
3.3.4 Analisis Produk dari Hasil Reaksi Katalitik	20
3.4 Karakterisasi Katalis	21
3.4.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	21
3.4.2 <i>Hydrogen-Temperature Programmed Reduction (H₂-TPR)</i> ..	21

3.4.3	<i>Ammonia-Temperature Programmed Desorption (NH₃-TPD)</i>	23
3.4.4	<i>Pyridine Adsorbed-Attenuated Total Reflectance-Infrared Spectroscopy (Py-ATR-IR)</i>	23
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1	Kinerja Katalitik Katalis Satu Logam Berpengembangan.....	24
4.1.1	Skrining Katalis Satu Logam Berbasis Ru	24
4.1.2	Evaluasi Paramater Reaksi dari Katalis Ru/TiO ₂	26
4.1.2.1	Pengaruh Suhu Reaksi	26
4.1.2.2	Pengaruh Waktu Reaksi.....	28
4.1.2.3	Pengaruh Tekanan Awal Gas H ₂	29
4.2	Hubungan Karakteristik Katalis Ru/TiO ₂ dengan Hasil Kinerja Katalitik.....	31
4.2.1	Struktur Kristal pada Sistem Katalis Ru/TiO ₂	31
4.2.2	Sifat Reduksibilitas Logam.....	32
4.2.3	Keasaman Total dan Jenis Situs Asam	34
4.3	Kinerja Katalis Dua Logam Berpengembangan	38
4.3.1	Skrining Katalis Dua Logam Berbasis Ru-Sn	38
4.3.2	Pengaruh Komposisi ZrO ₂ -TiO ₂ (A)	40
4.3.3	Pengaruh Suhu Kalsinasi	42
4.4	Hubungan Karakteristik Katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A) dengan Hasil Kinerja Katalitik.....	43
4.4.1	Struktur Kristal pada Sistem Katalis Ru-Sn	43
4.4.2	Sifat Reduksibilitas Logam.....	45

4.4.3 Keasaman Total dan Jenis Situs Asam	46
V. KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Sistem katalitik pembukaan cincin furan pada berbagai macam substrat menjadi 1,5-PeD	11
4.1 Skrining katalis satu logam Ru.....	24
4.2 Sifat fisis-kimia dari katalis Ru/TiO ₂ (A) dan Ru/TiO ₂ (R)	37
4.3 Skrining katalis dua logam Ru-Sn/ZrO ₂ -X (X = oksida logam)	38
4.4 Hasil reaksi katalitik dari variasi komposisi ZrO ₂ -TiO ₂ (A).....	41
4.5 Hasil reaksi katalitik dari variasi suhu kalsinasi ZrO ₂ -TiO ₂ (A).....	42
4.6 Sifat fisis-kimia dari katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A)-300	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Skema rute reaksi pembentukan senyawa pentanadiols dari FFald menggunakan katalis heterogen	9
3.1 Prosedur sintesis katalis Ru/TiO ₂	15
3.2 Prosedur sintesis pengemban ZrO ₂ -TiO ₂ (A)	16
3.3 Sintesis katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A)	17
3.4 Reaksi katalitik FFalc beserta bagian reaktor TAIATSU	19
4.1 Pengaruh suhu reaksi menggunakan katalis Ru/TiO ₂	26
4.2 Pengaruh waktu reaksi menggunakan katalis Ru/TiO ₂	28
4.3 Pengaruh tekanan awal gas H ₂ menggunakan katalis Ru/TiO ₂	30
4.4 Pola difraksi dari katalis Ru/TiO ₂ (R) dan Ru/TiO ₂ (A)	32
4.5 Analisis H ₂ -TPR pada katalis Ru/TiO ₂ (R) dan Ru/TiO ₂ (A)	33
4.6 Analisis NH ₃ -TPD pada katalis Ru/TiO ₂ (R) dan Ru/TiO ₂ (A)	35
4.7 Analisis Py-ATR-IR pada katalis Ru/TiO ₂ (R) dan Ru/TiO ₂ (A)	36
4.8 Pola difraksi dari variasi katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -X (X = oksida logam) dan variasi suhu kalsinasi pengemban pada katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A)	44
4.9 Analisis H ₂ -TPR pada katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A)-300	45
4.10 Resentatif data dari analisis NH ₃ -TPD dan adsorpsi piridin pada katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A)-300	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Perhitungan sintesis katalis Ru-Sn/ZrO ₂ -TiO ₂ (A).....	66
2. Penentuan nilai faktor pengali dari kurva standar FFalc	67
3. Perhitungan konversi FFalc dari hasil reaksi hidrogenolisis	69
4. Perhitungan jumlah produk 4,5-DHFM dan 1,5-PeD dari hasil reaksi hidrogenolisis	71
5. Perhitungan dispersi logam Ru dan ukuran partikel logam Ru	72
6. Dokumentasi penelitian	74
7. Luaran penelitian	76