STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH METODE CO-IMPREGNATION DAN SEQUENTIAL IMPREGNATION SERTA RASIO
BIMETALIK Ni-Fe/HZSM-5 TERHADAP KINERJA PIROLISIS MINYAK JELANTAH
Bintang Ardiya Wirayuda, Ir. Robertus Dhimas Dhewangga Putra, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING iii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI v
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR vi
HALAMAN PERSEMBAHAN vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR LAMPIRAN xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xviii
INTISARI xx
ABSTRACT xxi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 6
1.3 Asumsi dan Batasan Masalah 7
1.4 Tujuan Penelitian 8
1.5 Manfaat Penelitian 8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Pirolisis Minyak Jelantah dengan Katalis Berbasis HZSM-5 9
2.2 Pirolisis Katalitik Menggunakan Ni dan Fe pada *Support* HZSM-5 13
2.3 Pirolisis Katalitik Menggunakan Reaktor *Continous* 18
2.4 Metode *Co Impregnation* dan *Sequential Impregnation* 21
2.5 Kebaharuan Penelitian 25
BAB III DASAR TEORI 29
3.1 Minyak Jelantah 29
3.2 Pirolisis 31
3.3 Katalis 34

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH METODE CO-IMPREGNATION DAN SEQUENTIAL IMPREGNATION SERTA RASIO
BIMETALIK Ni-Fe/HZSM-5 TERHADAP KINERJA PIROLISIS MINYAK JELANTAH
Bintang Ardiya Wirayuda, Ir. Robertus Dhimas Dhewangga Putra, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3.1 HZSM-5 36
3.3.2 Ni-Fe/HZSM-5 38
3.4 *Incipient Wetness Impregnation* 40
3.4.1 *Co-Impregnation* 41
3.4.2 *Sequential Impregnation* 41
3.5 Karakterisasi Katalis 42
3.5.1 *Brunauer-Emmett-Teller* 42
3.6 Karakterisasi *Bio-Oil* dan Gas 45
3.6.1 Nilai Kalor 45
3.6.2 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* 47
3.6.3 Massa Jenis 49
3.6.4 Viskositas 51
3.6.5 *Gas Chromatography* 53
3.7 *Energy Recovery* 55
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN **57**
4.1 Diagram Alir Penelitian 57
4.2 Lokasi Penelitian 58
4.3 Bahan Baku Penelitian 58
4.3.1 Minyak Jelantah 58
4.3.2 Katalis 58
4.4 Alat Penelitian 59
4.4.1 Alat Pirolisis 59
4.4.2 Timbangan Digital 62
4.4.3 Gelas *Beaker* 62
4.4.4 Sendok Besi 63
4.4.5 *Digital Drying Oven* 63
4.4.6 *Muffle Furnace* 64
4.4.7 *Horizontal Tube Furnace* 64
4.4.8 *Brunauer-Emmett-Teller* 65
4.4.9 *Bomb Calorimeter* 65
4.4.10 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* 65

UNIVERSITAS GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH METODE CO-IMPREGNATION DAN SEQUENTIAL IMPREGNATION SERTA RASIO
BIMETALIK Ni-Fe/HZSM-5 TERHADAP KINERJA PIROLISIS MINYAK JELANTAH
Bintang Ardiya Wirayuda, Ir. Robertus Dhimas Dhewangga Putra, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.4.11 *Piknometer* 66
4.4.12 Viskometer Ostwald 66
4.4.13 *Gas Chromatography* 67
4.5 Rancangan Penelitian 67
4.6 Variabel Penelitian 69
4.6.1 Variabel Bebas 69
4.6.2 Variabel Terikat 69
4.6.3 Variabel Kontrol 69
4.7 Prosedur Pembuatan Katalis 69
4.7.1 Perhitungan Massa Logam terhadap *Support* HZSM-5 69
4.7.2 Pembuatan dengan Metode *Co-Impregnation* 72
4.7.3 Pembuatan dengan Metode *Sequential Impregnation* 75
4.8 Prosedur Proses Pirolisis 78
4.9 Prosedur Pengambilan Sampel 79
4.10 Prosedur Proses Analisis 81
4.10.1 Karakterisasi Katalis 81
4.10.2 Perhitungan *Yield* Produk Pirolisis 82
4.10.3 Analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* 83
4.10.4 Pengukuran Massa Jenis *Bio-Oil* 84
4.10.5 Pengukuran Viskositas *Bio-Oil* 85
4.10.6 Analisis Komposisi Gas Menggunakan *Gas Chromatography* 86
4.10.7 Pengujian Nilai Kalor 86
4.10.8 Perhitungan *Energy Recovery* 88
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN **90**
5.1 Karakterisasi Katalis Ni-Fe/HZSM-5 90
5.2 Kinerja Katalis Ni-Fe/HZSM-5 dalam Distribusi Produk Pirolisis 96
5.3 Kinerja Katalis Ni-Fe/HZSM-5 dalam Distribusi Kualitas Produk Pirolisis 99
5.3.1 Pengaruh Metode Sintesis dan Rasio Ni:Fe terhadap Nilai Kalor *Bio-Oil* 99

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH METODE CO-IMPREGNATION DAN SEQUENTIAL IMPREGNATION SERTA RASIO
BIMETALIK Ni-Fe/HZSM-5 TERHADAP KINERJA PIROLISIS MINYAK JELANTAH
Bintang Ardiya Wirayuda, Ir. Robertus Dhimas Dhewangga Putra, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.3.2 Pengaruh Metode Sintesis dan Rasio Ni:Fe terhadap Densitas *Bio-Oil* 102
5.3.3 Pengaruh Metode Sintesis dan Rasio Ni:Fe terhadap Viskositas *Bio-Oil* 105
5.3.4 Pengaruh Metode Sintesis dan Rasio Ni:Fe terhadap Gugus Fungsi *Bio-Oil* 111
5.3.5 Pengaruh Metode Sintesis dan Rasio Ni:Fe terhadap Komposisi Gas Hasil Pirolisis 114
5.3.6 Pengaruh Metode Sintesis dan Rasio Ni:Fe terhadap *Energy Recovery* 116
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN **120**
6.1 Kesimpulan 120
6.2 Saran 121
DAFTAR PUSTAKA **123**
LAMPIRAN **131**