

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMBUTAN</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR PUBLIKASI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Perumusan Masalah .....	5
I.3 Kebaruan Penelitian .....	5
I.4 Tujuan Penelitian .....	6
I.5 Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN PERUMUSAN HIPOTESIS</b> .....	<b>8</b>
II.1 Tinjauan Pustaka .....	8
II.1.1 <i>Refined Palm Oil</i> (RPO) sebagai bahan baku produksi bioavtur.....	8
II.1.2 Bioavtur.....	12
II.1.3 Zeolit H-ZSM-5 dan H-Mordenit sebagai pengemban katalis dalam konversi RPO menjadi bioavtur .....	16
II.1.4 Proses impregnasi logam (Co, Mo, W, CoMo dan CoW) pada H-ZSM-5 dan H-Mordenit dengan metode <i>spray</i> .....	20
II.1.5 Konversi <i>Refined Palm Oil</i> (RPO) menjadi bioavtur melalui proses <i>hydroprocessing</i> .....	24
II.2 Perumusan Hipotesis dan Rancangan Penelitian .....	29
II.2.1 Perumusan hipotesis .....	29
II.2.2 Rancangan penelitian .....	34
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>36</b>
III.1 Bahan dan Alat Penelitian.....	36
III.1.1 Bahan penelitian .....	36
III.1.2 Alat penelitian .....	36
III.2 Prosedur Penelitian.....	37
III.2.1 <i>Pretreatment</i> CPO .....	37
III.2.2 Sintesis katalis .....	37
III.2.3 Aplikasi katalis bermatriks H-ZSM-5 dan Mordenit pada proses <i>hydroprocessing</i> CPO menjadi bioavtur .....	38
III.2.4 Uji <i>reusability</i> dan regenerasi katalis terbaik .....	39
III.2.5 Uji ASTM.....	40

<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
IV.1	Karakterisasi Katalis .....	41
IV.1.1	Karakterisasi katalis menggunakan FTIR .....	41
IV.1.2	Karakterisasi katalis menggunakan XRD .....	45
IV.1.3	Karakterisasi keasaman katalis menggunakan NH <sub>3</sub> -TPD 50 .....	50
IV.1.4	Karakterisasi sifat tekstural katalis menggunakan SAA ..	56
IV.1.5	Karakterisasi katalis menggunakan SEM–EDX <i>Mapping</i> .....	62
IV.1.6	Karakterisasi katalis menggunakan TEM .....	72
IV.1.7	Karakterisasi katalis menggunakan XPS.....	75
IV.2	Kandungan Asam Lemak dalam Minyak Sawit.....	77
IV.3	Aplikasi Katalis untuk <i>Hydroprocessing</i> Atmosferik RPO menjadi Bioavtur.....	78
IV.4	Uji Reusability dan Regenerasi Katalis Terbaik .....	90
IV.5	Evaluasi dan Perbandingan Bioavtur dengan Bahan Bakar Jet Komersial .....	96
IV.6	Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu dan Arah Pengembangan Bioavtur Berbasis Proses HDO–HC di Masa Depan.....	102
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>106</b>
V.1	Kesimpulan .....	106
V.2	Saran.....	107
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>108</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>122</b>
Lampiran 1	Perhitungan massa garam prekursor logam pada impregnasi katalis 5% .....	122
Lampiran 2	Spektra FTIR .....	124
Lampiran 3	Difraktogram sinar-X katalis.....	127
Lampiran 4	Kurva NH <sub>3</sub> –TPD.....	129
Lampiran 5	Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N <sub>2</sub> .....	131
Lampiran 6	Spektra XPS .....	137
Lampiran 7	Analisis GC-MS produk cair hydrotreatment RPO.....	139
Lampiran 8	Analisis Titik Beku bioavtur hasil HDO-HC RPO menggunakan sistem katalis Mo/Z – Co/Z .....	141

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Tanaman Sawit.....	9
Gambar II.2	Letak Mesokarp dan Kernel dalam buah Sawit sebagai sumber CPO dan PKO .....	10
Gambar II.3	<i>Crude Palm Oil</i> (CPO).....	11
Gambar II.4	Sruktur dasar zeolit: a). diagram penyusunan tetrahedral SiO <sub>4</sub> dan AlO <sub>4</sub> ; b). serta kanal dan hubungan antara unit tetrahedral PBU dan SBU .....	17
Gambar II.5	Struktur kerangka H-ZSM-5 .....	18
Gambar II.6	Struktur kerangka H-Mordenit.....	20
Gambar II.7	Jalur konversi bahan bakar bioavtur dari berbagai sumber.....	25
Gambar II.8	Jalur reaksi <i>hydroprocessing</i> untuk bahan bioavtur .....	25
Gambar II.9	Mekanisme reaksi <i>hydrocracking</i> melalui pembentukan ion karbenium.....	27
Gambar II.10	Mekanisme reaksi <i>hydrocracking</i> melalui pembentukan ion karbonium terkoordinasi penta.....	28
Gambar III.1	Proses sintesis katalis .....	38
Gambar III.2	Skema reaktor <i>stainless-steel</i> teknik <i>one-pot double furnace</i> sistem <i>semi-batch</i> .....	39
Gambar IV.1	Spektra FTIR H-ZSM-5: a). Z, b). Co/Z, c). Mo/Z, d). W/Z, e). CoMo/Z, f). CoW/Z .....	42
Gambar IV.2	Spektra FTIR H-Mordenit: a). M, b). Co/M, c). Mo/M, d). W/M, e). CoMo/M, f). CoW/M .....	44
Gambar IV.3	Difraktogram katalis H-ZSM-5: a). Z, b). Co/Z, c). Mo/Z, d). W/Z, e). CoMo/Z, f). CoW/Z.....	46
Gambar IV.4	Difraktogram katalis H-Mordenit: a). M, b). Co/M, c). Mo/M, d). W/M, e). CoMo/M, f). CoW/M .....	48
Gambar IV.5	Kurva NH <sub>3</sub> -TPD katalis H-ZSM-5: a). Z, b). Co/Z, c). Mo/Z, d). W/Z, e). CoMo/Z, f). CoW/Z.....	52s
Gambar IV.6	Spektra FTIR katalis H-ZSM-5: a). Z, b). Co/Z, c). Mo/Z, d). W/Z, e). CoMo/Z, f). CoW/Z setelah uji asam .....	53
Gambar IV.7	Kurva NH <sub>3</sub> -TPD katalis H-Mordenit: a). M, b). Co/M, c). Mo/M, d). W/M, e). CoMo/M, f). CoW/M.....	55
Gambar IV.8	Spektra FTIR katalis Mordenit: a). M, b). Co/M, c). Mo/M, d). W/M, e). CoMo/M, f). CoW/M setelah uji asam.....	56
Gambar IV.9	Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N <sub>2</sub> katalis H-ZSM-5: a). Z, b). Co/Z, c). Mo/Z, d). W/Z, e). CoMo/Z, f). CoW/Z.....	58
Gambar IV.10	Kurva distribusi diameter pori katalis H-ZSM-5 .....	59
Gambar IV.11	Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N <sub>2</sub> katalis H-Mordenit: a). M, b). Co/M, c). Mo/M, d). W/M, e). CoMo/M, f). CoW/M .....	60
Gambar IV.12	Kurva distribusi diameter pori katalis H-Mordenit.....	61
Gambar IV.13	Citra SEM katalis terimpregnasi H-ZSM-5: a). Z, b). Co/Z, c). Mo/Z, d). W/Z, e). CoMo/Z, f). CoW/Z .....	63
Gambar IV.14	Mapping unsur pada permukaan katalis H-ZSM-5: a). Co/Z, b). Mo/Z, c). W/Z, d). Co dalam CoMo/Z (kiri) dan Mo dalam	

	CoMo/Z (kanan), e). Co dalam CoW/Z (kiri) dan W dalam CoW/Z (kanan).....	64
Gambar IV.15	Citra SEM katalis terimpregnasi Mordenit: a). M, b). Co/M, c). Mo/M, d). W/M, e). CoMo/M, f). CoW/M.....	68
Gambar IV.16	Mapping unsur pada permukaan katalis Mordenit: a). Co/M, b). Mo/M, c). W/M, d). Co dalam CoMo/M (kiri) dan Mo dalam CoMo/M (kanan), e). Co dalam CoW/M (kiri) dan W dalam CoW/M (kanan).....	70
Gambar IV.17	Citra TEM Co, Mo, dan W pada permukaan katalis H-ZSM-5: a). Z, b). Co/Z, c). Mo/Z, d). W/Z, e). CoMo/Z, f). CoW/Z .....	73
Gambar IV.18	Citra TEM Co, Mo, dan W pada permukaan katalis Mordenit: a). M, b). Co/M, c). Mo/M, d). W/M, e). CoMo/M, f). CoW/M.....	74
Gambar IV.19	Spektra XPS katalis H-ZSM-5 yang didekonvolusikan: a). Co 2p dalam Co/Z, b). Mo 3d dalam Mo/Z, and c). Co 2p dalam CoMo/Z (kiri) dan Mo 3d dalam CoMo/Z (kanan).....	75
Gambar IV.20	Minyak sawit: a). CPO, b). DPO dan c). RPO .....	77
Gambar IV.21	Skema mekanisme <i>hydroprocessing</i> yang mungkin terjadi dalam reaktor <i>stainless-steel</i> teknik <i>one-pot double furnace</i> sistem semi-batch tekanan rendah (atmosferik).....	89
Gambar IV.22	Uji reusability (siklus 1–5) dan regenerasi (siklus 6) sistem katalis Mo/Z–Co/Z.....	92
Gambar IV.23	Gambar SEM dari katalis a). Co/Z fresh, b). Co/Z pemakaian 5x, c). Co/Z setelah regenerasi, d). Mo/Z fresh, e). Mo/Z pemakaian 5x, f). Mo/Z setelah regenerasi .....	93
Gambar IV.24	Uji <i>reusability</i> (siklus 1–10) dengan katalis Mo/Z–Co/Z dan umpan RPOK .....	95
Gambar IV.25	Gambar SEM katalis a). Co/Z pemakaian 10x, b). Mo/Z pemakaian 10x, c). Katalis setelah regenerasi .....	95
Gambar IV.26	Perbandingan komposisi hidrokarbon kisaran bioavtur dalam produk cair dari hidrotreatment menggunakan Mo/Z–Co/Z pada fraksi I dan fraksi II dengan bahan bakar jet komersial .....	97
Gambar IV.27	Produk cair hasil HDO-HC RPO menggunakan sistem katalis Mo/Z – Co/Z .....	98

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Komposisi asam lemak CPO .....	11
Tabel II.2	Distribusi senyawa penting dalam avtur .....	13
Tabel II.3	Sifat fisik bahan bakar avtur Jet A dan Jet-A1 .....	14
Tabel IV.1	Hasil interpretasi spektra FTIR katalis terimpregnasi pada H-ZSM-5 .....	42
Tabel IV.2	Hasil interpretasi spektra FTIR katalis terimpregnasi pada H-Mordenit .....	44
Tabel IV.3	Derajat dan ukuran kristalinitas katalis terimpregnasi pada H-ZSM-5 dan H-Mordenit .....	49
Tabel IV.4	Nilai keasaman total katalis H-ZSM-5 .....	52
Tabel IV.5	Nilai keasaman total katalis H-Mordenit .....	55
Tabel IV.6	Sifat tekstural katalis terimpregnasi pada H-ZSM-5 .....	58
Tabel IV.7	Sifat tekstural katalis terimpregnasi pada H-Mordenit .....	60
Tabel IV.8	Persentase unsur katalis H-ZSM-5 dari hasil analisis EDX .....	66
Tabel IV.9	Perbandingan persentase unsur katalis menggunakan EDX dan AAS .....	67
Tabel IV.10	Persentase unsur katalis H-Mordenit dari hasil analisis EDX .....	71
Tabel IV.11	Komposisi senyawa asam lemak dalam CPO, DPO, RPO dan RPOP .....	77
Tabel IV.12	Selektivitas produk cair dari proses HDO-HC RPO menggunakan katalis bermatriks H-ZSM-5 dan H-Mordenit .....	81
Tabel IV.13	Komposisi hidrokarbon produk cair proses HDO-HC dengan susunan katalis Mo/Z-Co/Z .....	86
Tabel IV.14	Distribusi senyawa hidrokarbon avtur komersial .....	87
Tabel IV.15	Komposisi unsur dari katalis bekas pakai dan katalis yang telah diregenerasi berdasarkan hasil analisis EDX ( <i>Energy Dispersive X-ray Spectroscopy</i> ) .....	93
Tabel IV.16	Hasil uji titik beku dan nilai kalor .....	98
Tabel IV.17	Hasil pemisahan dengan distilasi fraksinasi berdasarkan kenaikan Suhu .....	99
Tabel IV.18	Hasil uji ASTM Avtur komersial dan bioavtur setelah distilasi .....	101
Tabel IV.19	Perbandingan Hasil Penelitian Ini dengan Studi Terkini yang Telah Dipublikasikan .....	104

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan massa garam prekursor logam pada impregnasi katalis 5%.....	122
Lampiran 2	Spektra FTIR.....	124
Lampiran 3	Difraktogram sinar-X katalis .....	127
Lampiran 4	Kurva NH <sub>3</sub> -TPD .....	129
Lampiran 5	Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N <sub>2</sub> .....	131
Lampiran 6	Spektra XPS .....	137
Lampiran 7	Analisis GC-MS produk cair hydrotreatment RPO .....	139
Lampiran 8	Analisis Titik Beku bioavtur hasil HDO-HC RPO menggunakan sistem katalis Mo/Z – Co/Z .....	141