UNIVERSITAS
GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KOMBINASI Ni, Fe, Mg PADA HZSM-5 SERTA DEBIT FEEDSTOCK TERHADAP KINERJA PIROLISIS MINYAK JELANTAH
Adhika Pramudhia Kirana, Robertus Dhimas Dhewangga Putra
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Minyak jelantah atau *Waste Cooking Oil* (WCO) merupakan limbah organik yang memiliki potensi besar untuk dikonversi menjadi bahan bakar cair alternatif bernilai tinggi melalui teknologi pirolisis katalitik. Selama ini HZSM-5 dikenal sebagai katalis heterogen yang unggul dalam reaksi perengkahan ikatan karbon. Namun, penggunaan katalis tunggal seperti HZSM-5 sering kali dihadapkan pada kendala deaktivasi cepat dan kurang optimalnya kapasitas deoksigenasi secara menyeluruh. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh modifikasi logam transisi dan alkali tanah secara monometalik maupun bimetalik (Ni, Fe, Mg) pada matriks penyangga HZSM-5 guna meningkatkan kualitas dan kuantitas produk bahan bakar nabati. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji secara empiris pengaruh variasi debit *feedstock* dalam konfigurasi reaktor kontinu terhadap distribusi produk.

Pirolisis katalitik WCO dilakukan dengan *continuous fixed bed reactor* yang dioperasikan pada temperatur konstan 450°C selama 2 jam. Enam jenis katalis, yaitu HZSM-5 murni, Ni/HZSM-5, Fe/HZSM-5, Mg/HZSM-5, Ni-Fe/HZSM-5, dan Ni-Mg/HZSM-5 disintesis melalui metode *incipient wet impregnation*. Variasi debit WCO diatur pada tingkat 1 mL/menit dan 2 mL/menit untuk memodulasi waktu tinggal uap reaktan. Evaluasi operasional sistem dilakukan secara komprehensif melalui karakterisasi pori katalis dengan instrumen Brunauer-Emmett-Teller (BET), perhitungan distribusi *yield* produk, uji *Higher Heating Value* (HHV) dengan *bomb calorimeter*, pengukuran densitas dan viskositas, identifikasi transformasi gugus fungsi dengan spektroskopi FTIR, analisis fraksi gas dengan *Gas Chromatography* (GC), serta perhitungan *energy recovery*.

Hasil analisis BET menunjukkan bahwa integrasi logam (kecuali Mg) berhasil memperluas area spesifik dan volume pori total HZSM-5, di mana katalis Fe/HZSM-5 mencapai luasan tertinggi. Terkait distribusi kuantitas, penerapan debit operasi 2 mL/menit secara konsisten meminimalisasi fenomena *secondary cracking* sehingga mampu mendongkrak perolehan *yield bio-oil* secara signifikan pada mayoritas variasi katalis. *Yield bio-oil* maksimal berhasil dicapai oleh katalis Ni/HZSM-5 pada debit 2 mL/menit dengan persentase 51,08%. Dari aspek kualitas energi, seluruh sampel *bio-oil* katalitik mencatatkan lonjakan HHV ke rentang 40,45–42,48 MJ/kg , dengan capaian tertinggi diraih oleh Fe/HZSM-5 pada 1 mL/menit. Analisis FTIR menguatkan hasil ini dengan mengonfirmasi aktivitas deoksigenasi, ditandai oleh penurunan drastis pada intensitas serapan gugus ester dan asam karboksilat. Secara holistik, implementasi katalis Ni/HZSM-5 yang dipadukan dengan debit 2 mL/menit direkomendasikan sebagai parameter operasi paling optimal karena berhasil memberikan sinergi terbaik antara fokus peningkatan *yield bio-oil*, nilai kalor yang tinggi, serta capaian *energy recovery bio-oil* tertinggi di angka 53,80%.

Kata Kunci: pirolisis kontinu, minyak jelantah, modifikasi katalis, debit *feedstock*, HZSM-5

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KOMBINASI Ni, Fe, Mg PADA HZSM-5 SERTA DEBIT FEEDSTOCK TERHADAP KINERJA PIROLISIS MINYAK JELANTAH
Adhika Pramudhia Kirana, Robertus Dhimas Dhewangga Putra
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Waste Cooking Oil (WCO) is an organic waste with immense potential to be converted into high-value alternative liquid fuels through catalytic pyrolysis technology. HZSM-5 has been widely recognized as a superior heterogeneous catalyst in carbon bond cracking reactions. However, the application of a single catalyst like pristine HZSM-5 is frequently hindered by rapid deactivation and suboptimal thorough deoxygenation capacity. This study aims to investigate the effect of monometallic and bimetallic modifications of transition and alkaline earth metals (Ni, Fe, Mg) on the HZSM-5 support matrix to enhance the quality and quantity of biofuel products. Furthermore, this research empirically examines the effect of feedstock flow rate variations in a continuous reactor configuration on the product distribution.

Catalytic pyrolysis of WCO was conducted using a continuous fixed-bed reactor operated at a constant temperature of 450°C for 2 hours. Six types of catalysts, namely pristine HZSM-5, Ni/HZSM-5, Fe/HZSM-5, Mg/HZSM-5, Ni-Fe/HZSM-5, and Ni-Mg/HZSM-5, were synthesized via incipient wet impregnation method. The WCO flow rate was varied at 1 mL/min and 2 mL/min to modulate the reactant vapor residence time. A comprehensive operational evaluation of the system was performed through catalyst pore characterization using a Brunauer-Emmett-Teller (BET) instrument, product yield distribution calculations, Higher Heating Value (HHV) testing using a bomb calorimeter, density and viscosity measurements, functional group transformation identification using FTIR spectroscopy, gas fraction analysis using Gas Chromatography (GC), and energy recovery calculations.

BET analysis results indicated that metal integration (except Mg) successfully expanded the specific surface area and total pore volume of HZSM-5, with the Fe/HZSM-5 catalyst achieving the highest area. Regarding quantity distribution, the application of a 2 mL/min operating flow rate consistently minimized the secondary cracking phenomenon, thereby significantly boosting the bio-oil yield across the majority of catalyst variations. The maximum bio-oil yield of 51.08% was achieved by the Ni/HZSM-5 catalyst at a flow rate of 2 mL/min. From the aspect of energy quality, all catalytic bio-oil samples recorded a surge in HHV to the range of 40.45–42.48 MJ/kg, with the highest achievement obtained by Fe/HZSM-5 at 1 mL/min. FTIR analysis corroborated these results by confirming deoxygenation activity, characterized by a drastic decrease in the absorption intensity of ester and carboxylic acid groups. Holistically, the implementation of the Ni/HZSM-5 catalyst combined with a flow rate of 2 mL/min is recommended as the most optimal operating parameter as it provides the best synergy among maximizing bio-oil yield, achieving a high heating value, and attaining the highest bio-oil energy recovery at 53.80%.

Keywords: continuous pyrolysis, waste cooking oil, catalyst modification, feedstock flow rate, HZSM-5