

Abstract of thesis presented to the Senate of Universiti Malaysia Terengganu in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science

**INVESTIGATION OF CO-PYROLYSIS OF FISH WASTE AND EMPTY
FRUIT BUNCH: KINETIC AND THERMODYNAMIC PARAMETER
ESTIMATION, PRODUCT YIELDS, AND BIOCHAR
CHARACTERISATION**

NURUL IFFAH FARHAH MOHD YUSOF

JUNE 2024

Main Supervisor : Ts. Nur Farizan Munajat, Ph.D

School/Institute : Faculty of Ocean Engineering Technology

This study explores the feasibility of utilising fish waste (FW) and empty fruit bunches (EFB) as feedstocks in co-pyrolysis. The research aims to optimize co-pyrolysis by estimating kinetic and thermodynamic parameters, evaluating product yields at various temperatures, and characterising biochar properties. Thermogravimetric analysis was employed at heating rates of 10, 20, and 30 °C/min, while kinetic and thermodynamic parameters were estimated using the Kissinger-Akahira-Sunose and Flynn-Wall-Ozawa methods. Reaction mechanisms were inferred using Criado plots. Product yields were measured in a tube furnace at 500 - 600 °C temperatures. The biochar was characterised using Fourier-transform infrared spectroscopy and scanning electron microscopy. Results revealed that activation energies (E_a) ranged from 25.56 to 170.76 kJ/mol, with 75FW:25EFB exhibiting the lowest E_a . The complexity of co-pyrolysis reactions was evidenced by frequency factors with average values spanning from 1.65×10^8 to $5.66 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$. Reaction models identified included Power law, Avrami-Erofeev, Reaction-order, Geometrical contraction, and Diffusion models. The changes in enthalpy and entropy analyses highlighted the energy-intensive and thermodynamic equilibrium tendencies of the process, with the change in Gibbs free energy confirming the feasibility of co-pyrolysis. FW-rich mixtures produced higher biochar yields, attributed to their ash content, while EFB-rich mixtures favored biogas production due to higher volatile

content. At 500 °C, 75FW:25EFB achieved 47 % biochar yield, which decreased to 42 % at 600 °C. EFB demonstrated superior gas production potential, reaching 67 % biogas yield at 600 °C. Co-pyrolysis resulted in improved liquid fuel and gas yields compared to individual feedstocks. Biochar analysis revealed that FW-rich biochar contained nitrogenous and aromatic functional groups, while lignocellulosic structures characterized EFB-rich biochar. Co-pyrolyzed biochar also showed enhanced carbonization, porosity, and functionality, making it ideal for soil amendment, water filtration, and renewable energy uses. The study highlights the advantages of optimizing FW and EFB ratios, with 75FW:25EFB and 50FW:50EFB emerging as the most effective blends for balanced product yields and biochar quality. This research demonstrates the potential of FW and EFB co-pyrolysis as a sustainable approach to optimize biochar production and convert waste into valuable resources.

Abstrak tesis yang dikemukakan kepada Senat Universiti Malaysia Terengganu sebagai memenuhi keperluan untuk Ijazah Sarjana

**SIASATAN KO-PYROLYSIS SISA IKAN DAN TANDAN BUAH KOSONG:
ANGGARAN PARAMETER KINETIK DAN TERMODINAMIK, HASIL
PRODUK DAN PENCIRIAN BIOCHAR**

NURUL IFFAH FARHAH MOHD YUSOF

JUN 2024

Penyelia : Ts. Nur Farizan Munajat, Ph.D

Pusat Pengajian/Institut : Fakulti Teknologi Kejuruteraan Kelautan

Kajian ini meneroka kebolehlaksanaan menggunakan sisa ikan (FW) dan tandan kosong kelapa sawit (EFB) sebagai bahan mentah dalam proses ko-pirolisis. Penyelidikan ini bertujuan untuk mengoptimumkan ko-pirolisis dengan menganggar parameter kinetik dan termodinamik, menyiasat hasil produk pada pelbagai suhu, dan mencirikan sifat biochar. Analisis termogravimetrik dijalankan dengan kadar pemanasan 10, 20, dan 30 °C/min, manakala parameter kinetik dan termodinamik dianggar menggunakan kaedah Kissinger-Akahira-Sunose dan Flynn-Wall-Ozawa. Mekanisma tindak balas ditentukan daripada plot Criado. Hasil produk dinilai menggunakan relau tiub pada suhu antara 500 - 600 °C dan biochar dicirikan menggunakan spektroskopi inframerah transformasi Fourier dan mikroskop elektron imbasan. Hasil kajian menunjukkan tenaga pengaktifan (E_a) berada dalam julat 25.56 hingga 170.76 kJ/mol, dengan nisbah 75FW:25EFB mencatatkan E_a terendah, menunjukkan interaksi sinergistik antara FW dan EFB yang meningkatkan kecekapan tenaga. Kompleksiti tindak balas ko-pirolisis dibuktikan melalui faktor frekuensi dengan nilai purata dalam julat 1.65×10^8 hingga $5.66 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$. Model tindakbalas yang dikenal pasti termasuk hukum kuasa, Avrami-Erofeev, tertib tindakbalas, pengecutan geometri, dan model resapan. Analisis perubahan entalpi dan entropi menonjolkan sifat intensif tenaga dan kecenderungan keseimbangan termodinamik proses ini, manakala perubahan tenaga bebas Gibbs mengesahkan kebolehlaksanaan ko-pirolisis. Campuran kaya FW menghasilkan biochar lebih tinggi yang dikaitkan

dengan kandungan abu yang tinggi, manakala campuran kaya EFB menghasilkan lebih banyak biogas disebabkan kandungan mudah teruap yang lebih tinggi. Pada suhu 500 °C, campuran 75FW:25EFB menghasilkan 47 % biochar, yang menurun kepada 42 % pada 600 °C. EFB menunjukkan potensi pengeluaran gas yang unggul, mencapai 67 % hasil biogas pada 600 °C. Ko-pirolisis meningkatkan hasil bahan bakar cecair dan gas berbanding dengan pirolisis bahan tunggal. Analisis biochar menunjukkan biochar kaya-FW mengandungi kumpulan fungsi nitrogen dan aromatik, manakala biochar kaya-EFB dicirikan oleh struktur lignoselulosa. Biochar hasil ko-pirolisis juga menunjukkan peningkatan karbonisasi, keliangan, dan fungsi, menjadikannya sesuai untuk pembaikan tanah, penapisan air, dan aplikasi tenaga boleh diperbaharui. Kajian ini menekankan kelebihan mengoptimumkan nisbah FW dan EFB, dengan nisbah 75FW:25EFB dan 50FW:50EFB muncul sebagai gabungan paling berkesan untuk hasil produk yang seimbang dan kualiti biochar yang baik. Penyelidikan ini membuktikan potensi ko-pirolisis FW dan EFB untuk mengoptimumkan pengeluaran biochar dan menukar sisa kepada sumber bernilai.