

INTISARI

Dalam menjaga ketahanan energi nasional pengadaan energi baru terbarukan (EBT) harus terus dikembangkan. Biomassa mikroalga *Spirulina platensis* (SP) adalah salah satu sumber EBT, jika diekstraksi akan menghasilkan minyak alga dan residu padat. Residu padat SP dengan pirolisis akan menghasilkan produk utama (bio-oil, *char* dan gas) untuk bahan bakar dan produk tambahan (*water phase*) untuk *chemicals*. Bio-oil dengan kandungan senyawa oksigenat atau O/C yang cukup tinggi dapat diperbaiki (*upgrading*) kualitasnya dengan penambahan katalis. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pirolisis dari *Spirulina platensis residue* (SPR) sekaligus *upgrading* dengan katalis dalam reaktor *fixed-bed*.

Penelitian pirolisis dilakukan dengan variasi suhu (300–600°C), ukuran butir SPR (0,105-0,177; 0,105; 0,149 dan 0,177 mm) dan katalis silika alumina (10–40 wt.%) dengan *heating rate* 5-35°C/min. Reaktor silinder bagian atas diisi SPR, sedangkan bagian bawah dimasukkan katalis. Pemanasan dilakukan dengan aliran listrik. Produk cair dianalisis dengan GC-MS dan *ultimate*, gas dengan GC dan *char* dengan *ultimate*. Ada 2 model kinetika yang dikembangkan, yakni *One step global model* yang dipelajari dengan *Thermogravimetry Analysis* (TGA) dan *Two-Stage Pyrolysis Model* dengan reaktor *fixed-bed*. Analisis eksergi dilakukan untuk mencari konfigurasi proses pirolisis yang paling efisien dalam penggunaan energi dengan menghitung *Exergy loss* (EXL) dari peralatan proses yang digunakan. Ada 4 konfigurasi proses yang dipelajari, yaitu Konfigurasi A, B, C dan D dengan variasi jumlah kondensor dan penghematan penggunaan air segar untuk kondensasi.

Dari hasil percobaan pirolisis tanpa katalis, semakin tinggi suhu pirolisis semakin naik *yield* bio-oil dan optimum pada suhu 550°C (23,06 wt.%) kemudian turun, sebaliknya *yield* gas akan naik. Ukuran butir berpengaruh terhadap *yield* bio-oil, semakin besar ukuran butir maka *yield* bio-oil semakin turun dan optimum pada ukuran butir 0,105 mm (34,10 wt.%) pada suhu 500 °C. Pemakaian katalis akan menurunkan *yield* bio-oil dan *char*, sebaliknya gas naik. *Upgrading* bio-oil dengan katalis dapat menurunkan senyawa oksigenat dan O/C, sebaliknya menaikkan HHV. Penurunan senyawa oksigenat rata-rata 60,63 menjadi 32,15 wt.% yakni sekitar 46,67 %, sedangkan penurunan rata-rata rasio O/C dari 0,61 menjadi 0,17 yakni sebesar 72,13 % dan HHV naik dari 16,66 menjadi 23,36 MJ/kg yakni 41,84 %. Dengan Model I diperoleh energi aktivasi (E_a) paling rendah (39,462 KJ/mol) pada pemakaian katalis 1:1. Sedangkan dari Model II didapatkan hasil bahwa langkah reaksi yang paling dominan pada dekomposisi SPR menjadi *char* (E_3) yakni 15,56 KJ/mol (tanpa katalis) dan 0,03 KJ/mol (dengan katalis). Dari Model III diperoleh hasil bahwa dekomposisi senyawa oksigenat produk (II) menjadi alifatik (V) dan oksigenat bahan baku (I) menjadi coke dan gas (V) lebih dominan dibanding dekomposisi alifatik dan aromatik menjadi produk lainnya. Dari termodinamika dengan analisis eksergi diperoleh penurunan EXL Konfigurasi D paling besar.

Kata kunci: *Spirulina platensis residue*, pirolisis, kinetika reaksi, dan eksergi

ABSTRACT

To maintain national energy security, it is necessary to develop the new renewable energy (NRE). Microalgae biomass of *Spirulina platensis* (SP) is one of its sources that will produce algae oil and solid residues if extracted. SP Solid residues with pyrolysis will produce the main product (bio-oil, *char* and gas) for fuel and the additional product (*water phase*) for chemicals. The quality of bio-oil with high-enough oxygenate compounds or O/C can be upgraded by adding a catalyst. The purpose of this research was to study pyrolysis of *Spirulina platensis* residue (SPR) while upgrading with catalysts in *fixed-bed* reactors.

The pyrolysis research was carried out with various temperatures (300–600 °C), SPR grain sizes (0.105-0.177; 0.105; 0.149 and 0.177 mm) and silica alumina catalysts (10–40 wt.%) with *heating rate* 5-35 °C/min. The upper cylinder reactor was filled with SPR, and the bottom was filled the catalyst. Heating was done electrically. The liquid products were analyzed with GC-MS and *ultimate*, gas products were analyzed with GC, and *char* was analyzed with *ultimate*. There were 2 kinetic models developed, which were One step global model studied by Thermogravimetry Analysis (TGA) and Two-Stage Pyrolysis Model with *fixed-bed* reactors. Exergy analysis was conducted to find out the most efficient pyrolysis process configuration in energy use by calculating Exergy loss (EXL) of the process equipment used. There were 4 configuration processes that were studied, which were Configuration A, B, C and D with variations in the number of condensers and savings in the use of fresh water for condensation.

From the results of pyrolysis experiments without catalysts, the higher the pyrolysis temperature, the higher the *yield* of bio-oil and the optimum at a temperature of 550 °C (23.06 wt.%); otherwise, the lower above the optimum temperature, the higher the gas *yield*. The grain size affected the *yield* of bio-oil, where the larger the grain size, the lower the bio-oil *yield* and the optimum the grain size was 0.105 mm (34.10 wt.%) at a temperature of 500 °C. The use of a catalyst reduced the *yield* of bio-oil and *char*, whereas the gas rose. Upgrading bio-oil with a catalyst reduced oxygenate compounds and O/C, whereas increase HHV. The decrease in oxygenate compounds averaged 60,28 to 32.15 wt.% which is around 46.67 %, while the reduction in the average O/C ratio from 0.61 to 0.17 which is equal to 72.13 %, and HHV rose from 16.66 to 23.63 MJ / kg at 41.84 %. With Model I the lowest activation energy (E_a) (39.462 KJ/mol) was obtained on the use of catalyst 1: 1, whereas Model II resulted that the most dominant reaction steps in the SPR decomposition to be *char* (E3) were 15.56 KJ/mol (without catalyst) and 0.03 KJ/mol (with catalyst). Model III resulted that the decompositions of the oxygenate product (II) compound into aliphatic (V) and oxygenate raw material (I) into coke and gas (V) were more dominant than aliphatic and aromatic decomposition into other products. From thermodynamics with exergy analysis the greatest decrease in EX D Configuration was obtained.

Keywords: *Spirulina platensis* residue, pyrolysis, reaction kinetics, and exergy