



## INTISARI

Penurunan cadangan sumber daya fosil dan target penurunan emisi gas rumah kaca mendorong pengembangan bahan bakar yang bersifat terbarukan dengan emisi karbon netto yang lebih rendah. Pemanfaatan mikroalga sebagai *biofuel* dapat memenuhi kriteria tersebut dengan beragam manfaat. Residu mikroalga hasil ekstraksi lipid, seperti *Spirulina platensis residue* (SPR) berpotensi untuk diolah menjadi *biofuel*. Di antara berbagai metode konversi termokimia, *microwave-assisted pyrolysis* (MAP) menawarkan keunggulan dari segi efisiensi pemanasan dengan mekanisme yang berbeda dari pirolisis konvensional. Mekanisme pemanasan dan reaksi pirolisis dipengaruhi oleh interaksi *microwave* dengan setiap material secara spesifik. Biomassa, termasuk SPR, secara umum tidak mampu menyerap *microwave* dengan baik, sehingga suhu pirolisis ( $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sulit tercapai. Oleh karena itu, diperlukan zat aditif berupa material absorben yang mampu menyerap *microwave* dengan baik, sehingga energi panas dapat dihasilkan dengan cukup untuk mencapai kondisi pirolisis.

Jenis (karbon aktif dan *biochar*) dan rasio absorben terhadap SPR (0, 25, 50, 75, dan 100%) divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik pemanasan dan distribusi produk (*bio-oil*, *char*, dan gas). Suhu dicatat setiap 5 detik selama 30 menit pirolisis serta *remaining solid* dan *bio-oil* ditimbang di akhir proses. Selain itu, rasio absorben (75, 80, dan 85%) juga divariasikan untuk melihat efeknya terhadap kinetika reaksi. Penelitian ini menggunakan model kinetika *competitive* yang melibatkan reaksi pirolisis primer dan sekunder. Model 1 hanya melibatkan reaksi primer SPR (biomassa) menjadi *bio-oil* ( $k_1$ ), *char* ( $k_2$ ), dan gas ( $k_3$ ). Model 2 menambahkan reaksi sekunder *bio-oil* menjadi gas ( $k_4$ ). Model 3 sama dengan model sebelumnya dengan tambahan reaksi sekunder *bio-oil* menjadi *char* ( $k_5$ ). *Remaining solid* dan *bio-oil* ditimbang setiap 5 menit untuk data kinetika. Proses *fitting* parameter Arrhenius, yaitu faktor frekuensi ( $A$ ) dan energi aktivasi ( $E_a$ ), dilakukan dengan membandingkan *yield* setiap produk dari data eksperimen dengan hasil simulasi melalui minimasi *sum of square error* (SSE).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio absorben, semakin tinggi pula kecepatan pemanasan dan suhu yang dapat dicapai oleh SPR. Selain itu, rasio absorben yang semakin tinggi dapat meningkatkan dekomposisi SPR dan *yield* produk volatil (*bio-oil* dan gas). Akan tetapi, rasio yang terlalu tinggi, yaitu 100%, dapat menurunkan dekomposisi SPR. Rasio yang tinggi juga menimbulkan mikroplasma, yang tidak diinginkan, dengan lebih cepat. Di sisi lain, jenis absorben karbon aktif memberikan kecepatan pemanasan yang sedikit lebih tinggi dan relatif lebih aman dari pembentukan mikroplasma dibandingkan *biochar*. Karbon aktif meningkatkan produksi *bio-oil*, sedangkan *biochar* meningkatkan produksi gas. Analisis kinetika menunjukkan bahwa peningkatan rasio karbon aktif meningkatkan konstanta laju reaksi primer ( $k_1 - k_3$ ), menurunkan  $k_4$  dan meningkatkan  $k_5$ . Kombinasi rasio karbon aktif dan suhu yang tinggi dapat meningkatkan selektivitas *bio-oil* terhadap gas dan selektivitas *bio-oil* terhadap *char*, secara berturut-turut, sehingga membuka peluang untuk optimasi produksi *bio-oil*. Meskipun reaksi sekunder dapat diabaikan karena energi aktivasinya jauh lebih besar dibandingkan reaksi primer, namun kontribusinya pada suhu tinggi relatif tidak bisa diabaikan karena peningkatannya terjadi secara eksponensial terhadap suhu.

**Kata kunci:** Absorben; *Bio-oil*; Kinetika Reaksi; *Microwave-assisted Pyrolysis*; Residu *Spirulina platensis*



## ABSTRACT

The decline in fossil reserves and the reduction of greenhouse gas emissions encourage the development of renewable fuels with lower carbon emissions. The use of microalgae as biofuel meets these criteria and has various benefits. Microalgae residues from lipid extraction, such as *Spirulina platensis* residue (SPR), have the potential to generate biofuel. Among the various thermochemical conversion methods, microwave-assisted pyrolysis (MAP) offers advantages in heating efficiency with a different mechanism from conventional pyrolysis. The heating mechanism and pyrolysis reaction are influenced by the specific interaction of microwaves with each material. Biomass, including SPR, is generally unable to absorb microwaves, so the pyrolysis temperature ( $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) is difficult to achieve. Therefore, microwave absorbent is needed to produce sufficient heat energy to achieve pyrolysis conditions.

The type (activated carbon and biochar) and the ratio of absorbent to SPR (0, 25, 50, 75, and 100%) were varied to determine their effects on the heating characteristics and product distribution (bio-oil, char, and gas). The temperature was recorded every 5 seconds during the 30-minute pyrolysis, while the solid residue and bio-oil were weighed at the end of the process. The absorbent ratio (75, 80, and 85%) was also varied to determine its effects on the reaction kinetics. This study used a competitive kinetic model involving primary and secondary pyrolysis reactions. Model 1 involved the primary reaction of SPR (biomass) to bio-oil ( $k_1$ ), char ( $k_2$ ), and gas ( $k_3$ ). Model 2 added the secondary reaction of bio-oil to gas ( $k_4$ ). Model 3 was the same as the previous model with the addition of the secondary reaction of bio-oil to char ( $k_5$ ). The solid residue and bio-oil were weighed every 5 minutes for kinetic data. The Arrhenius parameters, namely the frequency factor ( $A$ ) and activation energy ( $E_a$ ), were estimated by comparing each product yield from the experimental data with the simulation by minimizing the sum of square error (SSE).

The results showed that the higher the absorbent ratio, the higher the heating rate and temperature that can be achieved by SPR. In addition, a higher absorbent ratio increased SPR decomposition and volatile yields (bio-oil and gas). However, a too high ratio, namely 100%, could reduce SPR decomposition. A high ratio also generated undesired microplasma more quickly. On the other hand, activated carbon provided a slightly higher heating rate and was relatively safer from microplasma formation than biochar. Activated carbon increased bio-oil production, while biochar increased gas production. Kinetic analysis showed that increasing the activated carbon ratio increased the primary reaction rate constant ( $k_1 - k_3$ ), decreased  $k_4$ , and increased  $k_5$ . The combination of a high activated carbon ratio and high temperature can increase the selectivity of bio-oil to gas and the selectivity of bio-oil to char, respectively, thus generating opportunities for optimizing bio-oil production. Although the secondary reaction could be ignored practically due to its higher activation energy than the primary reaction, its contribution at high temperature was relatively non-negligible since its increase occurs exponentially with temperature.

**Keywords:** Absorbent; Bio-oil; Microwave-assisted Pyrolysis; Reaction Kinetics; *Spirulina platensis* residue