

## ANALISIS SISTEM OPTIMASI BIO-OIL DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT

**Rian Christian Sondakh**

Program Studi Agroteknologi, Universitas Madako Tolitoli

Korespondensi Penulis. e-mail: riansondakh@umada.ac.id

### **Abstrak**

Sumber energi bahan bakar terbatas. Untuk itu diperlukan energi alternatif yang dapat diperoleh dengan mudah. Produksi *bio-oil* berasal dari limbah biomassa dan limbah industri. Tandan kosong kelapa sawit (EPFB) merupakan produk sampingan dari industri kelapa sawit yang cukup besar, mencapai 23% dari berat buah segar, sehingga memiliki potensi yang baik untuk dimanfaatkan. Metode untuk memproduksi *bio-oil* dari tandan kosong kelapa sawit adalah melalui metode pirolisis cepat tetapi masalah utama bahwa produksi *bio-oil* tidak optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan faktor proses yang berpengaruh pada sistem produksi *bio-oil* dan juga meningkatkan rendemen *bio-oil*. Produksi *bio-oil* disimulasikan menggunakan *Business Process Model and Notations* untuk membantu peneliti dalam pengambilan keputusan. Analisis variabel dilakukan dengan menggunakan metode eliminasi fitur (RELIEF) yang andal. Hasilnya menunjukkan rendemen (70-80%) dan nilai kalor (15-25%), dipilih sebagai dua elemen yang paling berpengaruh pada *bio-oil*. Fitur-fitur tersebut dioptimalkan menggunakan *Response Surface Method* (RSM). RSM menemukan tiga faktor yang perlu dioptimalkan, seperti suhu optimal yang diperoleh pada 494,72°C, kadar air 5,64%, dan ukuran partikel 1,91 cm dengan rendemen minyak didapatkan sebesar 76,08% dan nilai kalor 26,87 MJ/kg. Sistem produksi ini dimungkinkan untuk aplikasi dalam produksi *bio-oil*.

**Kata Kunci:** Bio-oil, TKKS, BPMN

### **Abstract**

*Fuel energy sources are limited. It is necessary to obtain alternative energy that can be reached. Production of bio-oil derived from waste biomass and industrial waste. Empty palm fruit bunch (EPFB) is a side product of the palm oil industry, which is quite large, reaching 23% of the weight of fresh fruit, so it has good potential used. The method to produce bio-oil from an empty palm fruit bunch is through fast pyrolysis, but the main problem that the production of bio-oil is not optimum. The purpose of this research was to optimize process factors that affect the production system of bio-oil and also increasing yield bio-oil. Production bio-oil simulated using Business Process Model and Notations to help a researcher in decision making. Variables analysis conducted using reliable elimination of features (RELIEF) method. The result shows yield (70-80%) and heating value (15-25%) were chosen the most two elements on bio-oil. Those features optimized by Response Surface Method (RSM). RSM found three factors that need to be optimized. Like the optimum of temperature obtained at 494.72°C, water content 5.64%, and particle size 1.91 cm with bio-oil yield 76.08% and heating value 26.87MJ/kg. This production system is possible for application in production bio-oil.*

**Keywords:** Bio-oil, TKKS, BPMN

## PENDAHULUAN

Krisis minyak dan kepedulian lingkungan terhadap pelepasan emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar fosil telah menyebabkan peningkatan penelitian tentang pengembangan energi terbarukan yang memainkan peran penting bagi pasokan energi masa depan. Banyak sumber energi terbarukan tersedia secara luas seperti biomassa. Biomassa tersedia secara luas dari residu pertanian dan limbah industri. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan salah satu produk sampingan dari industri kelapa sawit dan memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai pemanfaatan energi terbarukan. Mengubah TKKS menjadi *bio-oil* dengan melalui proses termal memberikan lebih banyak manfaat dan potensi untuk digunakan sebagai energi yang baru untuk menggantikan bahan bakar fosil. Mengubah biomassa menjadi *bio-oil* membuatnya lebih efisien dalam banyak aplikasi. Oleh karena itu, optimasi dengan memaksimalkan kualitas dan kuantitas produk yang diinginkan adalah masalah penting.

Sistem produksi *bio-oil* adalah salah satu pendekatan sistem yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja dan kuantitas *bio-oil* melalui proses pirolisis cepat. Masalah optimisasi ini dapat diselesaikan oleh *Business Process Model and Notations* (BPMN) yang melayani alur proses kerja dengan cara yang lebih sederhana dan fleksibel sehingga secara otomatis memfasilitasi variabel kontrol juga untuk menentukan apakah akan ada peningkatan atau optimalisasi kinerja *bio-oil* yang dihasilkan. Mengoptimalkan semua parameter proses secara kolektif sangat penting. Untuk mengoptimalkan hasil *bio-oil* harus mengoptimalkan semua parameter proses dengan desain eksperimental statistik seperti *response surface methodology* (RSM) (Abnisa, 2011). Aspek yang paling penting dalam studi optimisasi ini adalah untuk mendapatkan jumlah (kuantitas) *bio-oil* tertinggi melalui proses pirolisis cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan efek tiga parameter proses seperti suhu reaktor, kadar air, dan ukuran partikel TKKS pada hasil *bio-oil* yang dihasilkan dari tandan kosong kelapa sawit menggunakan metode RSM. RSM merumuskan cara mengetahui kondisi optimal produksi *bio-oil*.

*Bio-oil* biasanya diperoleh dalam kondisi tidak optimal dan menjadi masalah besar. Penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa hasil minyak *bio-oil* tergantung pada reaktor dan bahan bakunya. *Bio-oil* dari pirolisis cepat sekam padi diuji oleh Ji-lu (2007) menunjukkan bahwa rendemen *bio-oil* tertinggi 56 wt% diperoleh pada 465°C. Menurut mullen, rendemen *bio-oil* adalah 60% dari tongkol jagung dan brangkasan (tangkai, daun, dan sekam) melalui proses pirolisis cepat. Banyak peneliti menemukan cara untuk meningkatkan hasil produk dengan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah produk seperti desain eksperimental statistik seperti *response surface methodology* (RSM). Abnisa (2011), menemukan hasil *bio-oil* yang dipengaruhi oleh empat faktor yaitu suhu 500 °C, laju alir N<sub>2</sub> 2 L/mnt, ukuran partikel 2 mm dan waktu reaksi 60 menit dan hasilnya menunjukkan hasil *bio-oil* adalah kira-kira diperoleh 46,4% berat. Menggunakan RSM untuk membuat model digunakan untuk menghitung kondisi operasi optimal untuk produksi karbon aktif memberikan hasil dan adsorpsi proses dan juga faktor-faktor tersebut adalah pengaruh suhu aktivasi, rasio kimia seng klorida ke kayu jawa dan waktu aktivasi pada proses aktivasi kimia kayu Asam Jawa. Hasil (45,26 wt%) dan adsorpsi (99,9%). Sahu *et al.*, (2010).

## METODE

Sistem ini dirumuskan secara matematis berdasarkan studi sebelumnya. Yang paling penting dalam produksi *bio-oil* adalah rendemen. Untuk menentukan optimasi

pada hasil minyak bio menggunakan formula diambil dari penelitian sebelumnya. Formulasinya adalah:

$$H = (M_1 - M_2)/(M_3 - M_4) \times 100\%$$

H adalah hasil minyak dalam wt%,  $M_1$  adalah massa dari botol pengumpul setelah percobaan dalam gram,  $M_2$  adalah massa dari botol pengumpul sebelum percobaan dalam gram,  $M_3$  adalah massa tandan kosong kelapa sawit mentah sebelum percobaan dalam gram, dan  $M_4$  adalah massa tandan kosong kelapa sawit mentah setelah percobaan dalam gram.

Kadar air bahan baku juga sangat penting. Menemukan optimasi kandungan air bahan baku menggunakan formula:

$$\% \text{watercontent} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Metode RELIEF digunakan untuk menentukan peringkat faktor-faktor penting dari produksi *bio-oil*. Perumusan metode RELIEF adalah:

$$W_{\text{new}} = W_{\text{old}}(A_i) - \text{diff}(X[A_i], H[A_i])^2 + \text{diff}(X[A_i], M[A_i])^2/m$$

## Pemodelan sistem

Memodelkan menggunakan perangkat lunak *Sybase PowerDesigner® v16.0. Business Process Model (BPM)* yang berperan dalam mengidentifikasi dan menguraikan proses sehingga sistem dapat diidentifikasi secara detail dan difokuskan pada aliran kontrol (eksekusi urutan) atau aliran data (pertukaran data). Sebagai tambahan, BPM juga menggunakan berbagai bahasa yang mewakili prosesnya, yang distandarisasi untuk menggambarkan aliran kontrol dalam (BPMN). Langkah-langkah yang diperlukan dalam menganalisis dan merancang sistem produksi *bio-oil* yang terbuat dari biomassa tandan kosong kelapa sawit dijelaskan di bawah ini (Lovely dan Tjatna, 2014). BPMN adalah notasi grafis untuk mewakili aliran proses sistem. BPMN menyediakan banyak notasi grafis yang digunakan untuk pemodelan proses. Notasi grafis yang dimiliki oleh BPMN misalnya adalah sistem mulai, proses, pesan perantara, akhir sistem, dan notasi yang masing-masing memiliki fungsi sendiri (Tjatna, 2017).

## Definisi sistem

Kelompok elemen dapat bekerja secara sinergis untuk memproses nilai tambah dan menawarkan pengguna untuk memenuhi kebutuhan operasional yang ditentukan oleh hasil dan probabilitas keberhasilan. Siklus atau langkah pengembangan dalam suatu sistem dimulai dari perencanaan, analisis, perancangan, implementasi dan pemeliharaan, atau yang dikenal sebagai *System Development Life Cycle (SDLC)* (Lovely dan Tjatna, 2014).

## Analisis kebutuhan

Beberapa atribut/informasi penting yang menggambarkan bagaimana sistem beroperasi. Atribut tersebut adalah input yang dapat diterima dan tidak dapat diterima, pemangku kepentingan, tujuan misi-peran, risiko, kontrol, sumber daya dan output yang dapat diterima dan tidak dapat diterima. Analisis faktor dilakukan dengan metode RELIEF. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi skor target dengan membandingkannya. Semakin banyak faktor skor, semakin penting dan krusial bagi sistem. Setelah peringkat faktor-faktor penting dihasilkan, beberapa di antaranya dapat dipilih faktor-faktor yang dibahas dalam hasil analisis model.

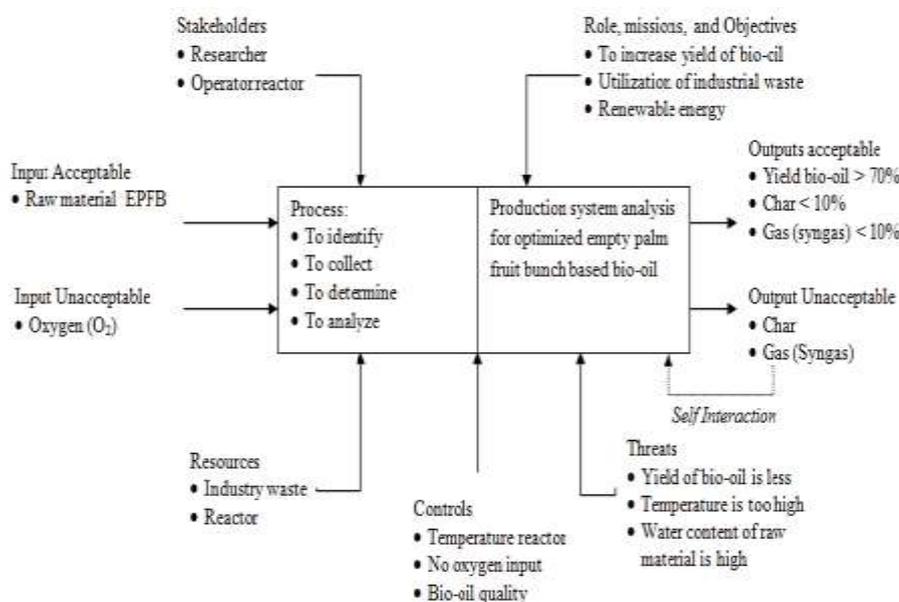
## Response surface methodology (RSM)

Penting untuk mengevaluasi kinerja variabel dalam sistem pirolisis untuk meningkatkan hasil. Optimalisasi pirolisis dapat berupa maksimum atau minimum fungsi dari parameter desain. Parameter yang berpengaruh terhadap produksi *bio-oil* dipelajari menggunakan standar desain RSM berdasarkan *Reliable Elimination of Features* (RELIEF). Eksperimen dilakukan dengan dua tanggapan dalam RELIEF seperti rendemen dari *bio-oil* dan nilai kalor. Suhu, kadar air, dan ukuran partikel dipilih sebagai faktor. Desain komposit sentral adalah jenis metodologi permukaan respons. Ini adalah model linier umum di mana perhatian difokuskan pada karakteristik fungsi respons fit khususnya, di mana nilai respons optimal terjadi. Data hasil dianalisis untuk model fit menggunakan perangkat lunak RSM (Lovely dan Tjatna, 2014).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis kebutuhan dan pemodelan sistem**

Analisis sistem produksi *bio-oil* dibagi menjadi atribut-atribut sistem konstruksi yang mencakup input, aktor/pemangku kepentingan, peran, sumber daya, kontrol/hambatan internal, peluang, ancaman, kendala operasi yang dapat diterima dan tidak dapat diterima. (Tjatna dan Kurniati, 2015)



**Gambar 1. Analisis kebutuhan produksi *bio-oil***

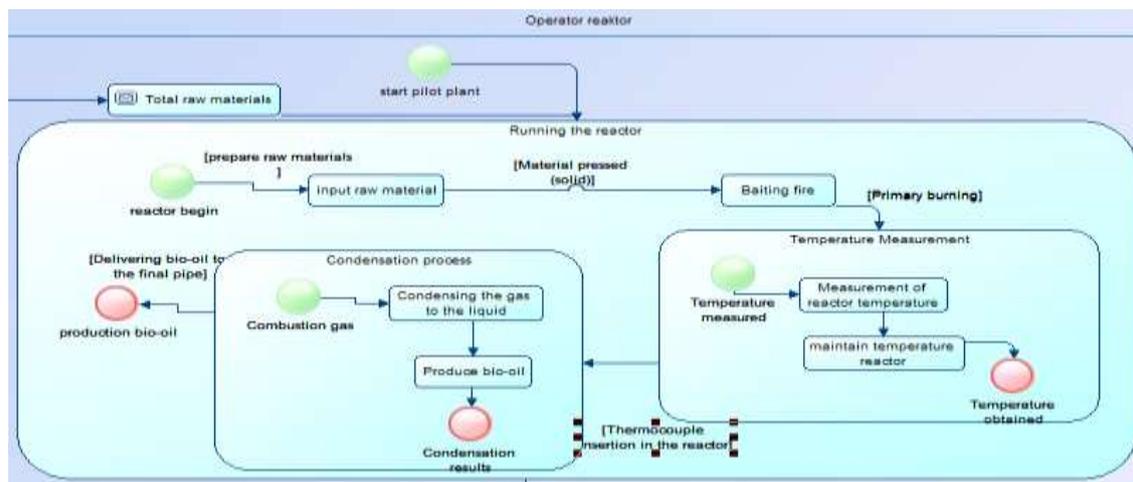
**Pengembangan sistem**

Definisi dan pengembangan sistem akan dijelaskan. Elemen pertama yang memulai sistem adalah sistem produksi *bio-oil* dengan TKKS dengan pendekatan pirolisis cepat. Dengan analisis, pemangku kepentingan yang diperlukan dalam perusahaan terkait dengan komposit, pemrosesan TKKS, reaktor operasi, produk *bio-oil*. BPMN yang digunakan untuk mengembangkan dan menganalisis.

Model dapat dirancang dengan menggunakan indikator keberhasilan. Model yang dibangun kemudian dievaluasi dan diuji sebelum dapat digunakan dalam pengembangan penelitian *bio-oil* dan harus dicatat bahwa pemahaman diperlukan sebelum kembali lagi ke titik awal pembuatan ide. BPMN menunjukkan sistem produksi terdiri dari 2 divisi di mana divisi pertama menyiapkan bahan baku yang bercabang menjadi sub-divisi pengurangan ukuran partikel dan mengurangi kadar air. Divisi kedua adalah reaktor

Sondakh, R.C. (2020). Analisis sistem optimasi bio-oil dari tandan kosong kelapa sawit. *Tolis Ilmiah: Jurnal Penelitian*, 2(1), 1-7.

operasi yang cabang-cabangnya menjadi sub-divisi yang menjalankan produksi reaktor/*bio-oil* dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2. Diagram swim-lane BPMN produksi bi-oil**

Terdapat tugas-tugas penting dalam diagram *swim-lane* yang menentukan bagaimana faktor-faktor penentu memengaruhi hasil proses. Dalam BPMN yang dibuat dalam sistem produksi *bio-oil* berbasis tandan kosong kelapa sawit dijelaskan bagaimana hubungan antar pemangku kepentingan dalam penelitian ini adalah peneliti dan operator reaktor. Dalam sistem produksi *bio-oil*, ia berfokus pada produksi *bio-oil*. Proses aliran data dimulai dari peneliti yang menyiapkan bahan baku meliputi pengurangan ukuran partikel dan mengurangi kadar air tandan kosong kelapa sawit. Setelah selesai bahan baku akan siap menghasilkan *bio-oil* dengan mengoperasikan reaktor. Kolaborasi antara beberapa unit yang terkait dengan penentuan formulasi menunjukkan bagaimana sistem model bekerja. BPMN telah dibangun dalam sistem produksi *bio-oil* dengan TKKS menunjukkan BPMN berjalan dengan baik sesuai dengan keinginan pembuat, di mana dapat dibuktikan dari hasil verifikasi terdapat 0 kesalahan dan 0 peringatan.

Dua variabel yang paling banyak diperoleh dari algoritma RELIEF adalah nilai rendemen dan nilai kalor. Dua faktor kritis yang diadopsi untuk sistem model ini bervariasi dalam rentang yang dipilih sebagai desain eksperimental yang disusun dengan menggunakan desain sistem. Faktor kritis yang diadopsi adalah hasil (70-80%), nilai kalor (17-25MJ / kg), viskositas (40-50 mm<sup>2</sup>/s), kepadatan (2-4 kg/L), dan PH (2-4). Hasil *relief* model menunjukkan, nilai rendemen dan nilai kalor menjadi parameter terbanyak yang harus dioptimalkan dapat dilihat pada Tabel 1. Pengoptimalan menggunakan pendekatan RSM dan faktor-faktor tersebut menjadi respons dalam RSM.

**Tabel 1. Analisis variabel sistem produksi bio-oil**

Parameter	weight	Rank
Yield	1.64	1
Heating value	0.92	2
viscosity	0.82	3
density	0.36	4
PH	0.17	5

**Response surface method (RSM)**

Optimalisasi *bio-oil* dari tandan kosong kelapa sawit dapat diperoleh secara efektif. *Response Surface Methodology* (RSM) akan memberikan kondisi optimal untuk meningkatkan produksi *bio-oil* dari tandan kosong kelapa sawit. Eksperimen dilakukan dengan dua tanggapan dalam RELIEF; yang merupakan hasil dari nilai *bio-oil* dan nilai kalor. Dalam hal ini RSM menunjukkan bahwa semua faktor dapat secara langsung mempengaruhi rendemen dari *bio-oil* dan nilai kalor (Abnisa, 2011). Suhu reaktor, kadar air, dan ukuran partikel dipilih sebagai faktor. Model kuadratik untuk konversi *bio-oil* dalam hal kode faktor direpresentasikan sebagai berikut:

$$Y_{\text{Solubility (\%)}} = +73.47 + 0.73A - 3.31B - 2.50C - 1.25AB - 1.25AC + 2.50BC - 5.26A^2 - 0.84B^2 - 3.90C^2$$

Dimana  $Y_{\text{Solubility (\%)}}$  adalah hasil dari *bio-oil* (%); A adalah reaktor suhu (°C); B adalah kadar air, C adalah ukuran partikel. Model statistik diperiksa dengan F-tes, dan ANOVA untuk model kuadrat permukaan respon. Model F-nilai 4,00 menyiratkan bahwa model itu signifikan. Hanya ada kemungkinan 0,02% bahwa nilai Model F sebesar ini dapat terjadi karena *noise*. Nilai probabilitas yang sangat rendah (model P,  $F < 0,0001$ ). Nilai "Prob> F" kurang dari 0,0500 menunjukkan bahwa model signifikan. Model kuadratik untuk konversi nilai kalor dalam hal kode faktor direpresentasikan sebagai:

$$Y_{\text{Solubility (\%)}} = +24.32 - 0.37A - 3.06B - 1.03C + 0.63AB - 0.62AC + 1.88BC - 2.225A^2 - 0.48B^2 - 2.02C^2$$

Pengaruh faktor operasi pada rendemen *bio-oil* dan nilai kalor

Dampak dari tiga faktor pada hasil *bio-oil* dan nilai kalor ditemukan oleh RSM. Analisis permukaan respons itu menunjukkan bahwa semua faktor dapat secara langsung mempengaruhi rendemen *bio-oil* dan nilai kalor. Nilai produksi dan pemanasan *bio-oil* maksimum sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut.

**Tabel 2. Hasil optimasi faktor dan respon**

Solusi	Suhu Reaktor (°C)	Kadar air (%)	Ukuran partikel (cm)	Rendemen (%)	Nilai Kalor (MJ/kg)
1	494.72	5.64	1.91	76.80	26.87
2	476.54	6.14	2.56	74.03	25.77
3	495.09	7.28	2.25	74.61	24.61

Tabel 2 menunjukkan hasil maksimum minyak (76,80%) dan nilai kalor (26,87 MJ/kg) diperoleh pada solusi 1 di mana reaktor suhu 494,72°C, kadar air 5,64%, dan ukuran partikel 1,91 cm. Indikator nilai rendemen dan nilai kalor *bio-oil* yang berhasil dapat meningkatkan persentase solusi hingga 76%.

**SIMPULAN**

Kondisi optimal sistem proses dalam menghasilkan *bio-oil* dari tandan kosong kelapa sawit ditentukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Persamaan model matematika dibangun menggunakan set data eksperimen dan ANOVA juga respon yang dilakukan oleh RELIEF. Titik optimum mencapai 76,08% rendemen *bio-oil* pada suhu 494,72 °C dengan kadar air 5,64%, dan ukuran partikel 1,91 cm.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abnisa, F., Daud, W., Sahu, J. (2011). Optimization and characterization studies on *bio-oil* production from palm shell by pyrolysis using response surface methodology. *Biomass and Bioenergy*. 35, 3604-3616.
- Sahu, J., Acharya, J., and Meikap, B. (2010) Optimization of production conditions for activated carbons from Tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology. *Bioresource Technology*. 101, 1974-1982
- Ji-lu, Z. (2007). *Bio-oil* from fast pyrolysis of rice husk: Yields and related properties and improvement of the pyrolysis system. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 80, 30-35
- Mullen, C., Boateng, A., Goldberg, N., Lima, I., Laird D., Hicks, K. B. (2010). *Bio-oil* and bio-char production from corn cobs and stover by fast pyrolysis. *Biomass and Bioenergy*. 34, 67-74
- Lovely, B. & Djatna, T. (2014). A system analysis and design for sorghum based nano-composite film production. *International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems*. 14, 145
- Djatna, T. (2017). Analysis and Design of Agro-Industry Production System with Digital Business Eco-system Approach (*Bogor: Bogor Agricultural University*). p 67.
- Djatna, T., Kurniati, W. (2015). A system analysis and design for packaging design of powder shaped fresheners based on Kansei engineering. *Procedia Manufacturing*. 4, 115-123.