

**PENGARUH TEMPERATUR PROSES PIROLISIS TANDAN KOSOSNG KELAPA SAWIT (TKKS) TERHADAP KARAKTERISTIK *BIO - OIL***

Arif Ferdiyanto<sup>1,a</sup>, Fajar Hamida Munfaridi<sup>2,b</sup>, Arif Hidayat<sup>3,c</sup>

*Jurusan Teknik Kimia, Universitas Islam Indonesia, INDONESIA.*

*(E-mail: <sup>a</sup>ferdiyanto.ariff@gmail.com, <sup>b</sup>fajarhamida36@gmail.com, <sup>c</sup>ariffhid@gmail.com)*

**ABSTRAK**

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan biomassa yang banyak ditemukan di Indonesia dan sangat berpotensi untuk dijadikan bahan bakar karena pasokannya melimpah dan kandungan karakteristiknya menguntungkan. Salah satu metode yang dapat dan banyak digunakan adalah pirolisis. Metode pirolisis dipertimbangkan karena prosesnya tergolong mudah dan ramah lingkungan. Tujuan penelitian adalah mengetahui pengaruh variasi suhu pirolisis terhadap yield dan karakteristik kandungan kimiawi bio-oil. Pirolisis dilakukan dengan memanaskan biomassa dalam reaktor batch dengan variasi suhu 450<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C, 550<sup>0</sup>C, dan 600<sup>0</sup>C. Hasil pirolisis berupa cairan dipisahkan menjadi hasil bening (*liquid smoke*) dan hasil kental (bio-oil). Dari hasil percobaan diketahui yield tertinggi bio-oil diperoleh pada suhu 600<sup>0</sup>C. Bio-oil kemudian diuji menggunakan GC-MS untuk mengetahui komponen kimianya. Hasil bening didominasi oleh asam asetat, sedangkan bio-oil didominasi oleh *phenol, acetone, ester*, dan beberapa senyawa mudah terbakar yaitu *1-bromo-2-methylbutane, furanmethanol* dan senyawa-senyawa hidrokarbon dalam jumlah sedikit. Bio-oil suhu 600<sup>0</sup>C menghasilkan asam oleat dalam jumlah yang cukup besar, yaitu 32,54%.

Kata-kata kunci: Bio-oil, pirolisis, tandan kosong kelapa sawit, asam oleat

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan bahan bakar minyak Indonesia dari tahun ke tahun terus menunjukkan kenaikan, pada tahun 1995 sebesar 15,84 juta kiloliter (ton), tahun 2000 sebesar 21,39 juta kiloliter, tahun 2005 sebesar 27,05 juta kiloliter, tahun 2011 sebesar 39,23 juta kiloliter, dan pada tahun 2014 sebesar 76 juta kilo liter (Outlook Energy Indonesia, 2011 dan 2016). Tren ini diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan pembangunan perekonomian. Disisi lain persediaan minyak bumi Indonesia hanya sekitar empat miliar barel dan hanya dapat mencukupi untuk 12 tahun ke depan (ESDM, 2015). Untuk mengimbangi kebutuhan energi yang terus meningkat pemerintah melalui PP nomer 79 tahun 2014 membuat kebijakan energi nasional sebagai pedoman pengelolaan energi nasional guna mewujudkan kemandirian dan ketahanan energi nasional yang berkelanjutan. Mengetahui kondisi seperti ini, sudah saatnya untuk mengembangkan berbagai energi alternative yang dapat diperbaharui untuk keberlanjutan dan ketahanan energi.

Dewasa ini sudah mulai banyak dilakukan penelitian terkait dengan bahan bakar alternative, seperti penelitian yang dilakukan oleh Beis dkk. (2002), Ozbay dkk. (2001) dan Onay dkk. (2004) yang mengkonversikan biomassa menjadi produk bio-oil. Bio-oil mulai banyak diteliti karena sangat menjanjikan dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan industry antara lain sebagai combustion fuel dan power generation untuk memproduksi bahan kimia serta dapat dicampur dengan minyak diesel sebagai bahan bakar mesin diesel.

Biomassa yang digunakan untuk produksi bio-oil dapat diperoleh dari limbah organic, limbah pertanian, perkebunan, industry dan rumah tangga. Negara tropis seperti Indonesia memiliki biomassa yang berlimpah. Indonesia menjadi penghasil minyak kelapa sawit (*CPO*) terbesar di dunia sejak 5 tahun terakhir dengan rata-rata produksi sebesar 32 juta ton (*Indonesian Palm Oil Assosiation*). Produksi besar tentu menimbulkan dampak limbah biomassa yang tidak sedikit. Salah satu limbah utama perkebunan kelapa sawit adalah tandan kosong kelapa sawit. Volume tandan kosong kelapa sawit di Indonesia tahun 2015 diperkirakan mencapai 27.6 juta ton (Dr. Isroi, PPBBI).

Melimpahnya limbah biomassa tandan kosong kelapa sawit di Indonesia menjadi potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternative. Kandungan utama TKKS adalah selulosa, dan lignin. Selulosa dalam TKKS dapat mencapai 54-60% sedangkan kandungan lignin mencapai 22-27% (Hambali, dkk. 2007). Kandungan selulosa yang tinggi membuat produk bio-oil yang dihasilkan menjadi besar. Metode yang dapat digunakan adalah pirolisis. Pirolisis adalah proses dekomposisi biomassa dalam reaktor tanpa udara yang menghasilkan produk cair, gas, dan arang. Pirolisis merupakan salah satu metode pendekatan yang dapat

digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi energy dalam bentuk cairan bio-oil, arang (*solid bio-char*), dan syn-gas yang terdiri dari H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> serta sedikit molekul hidrokarbon.

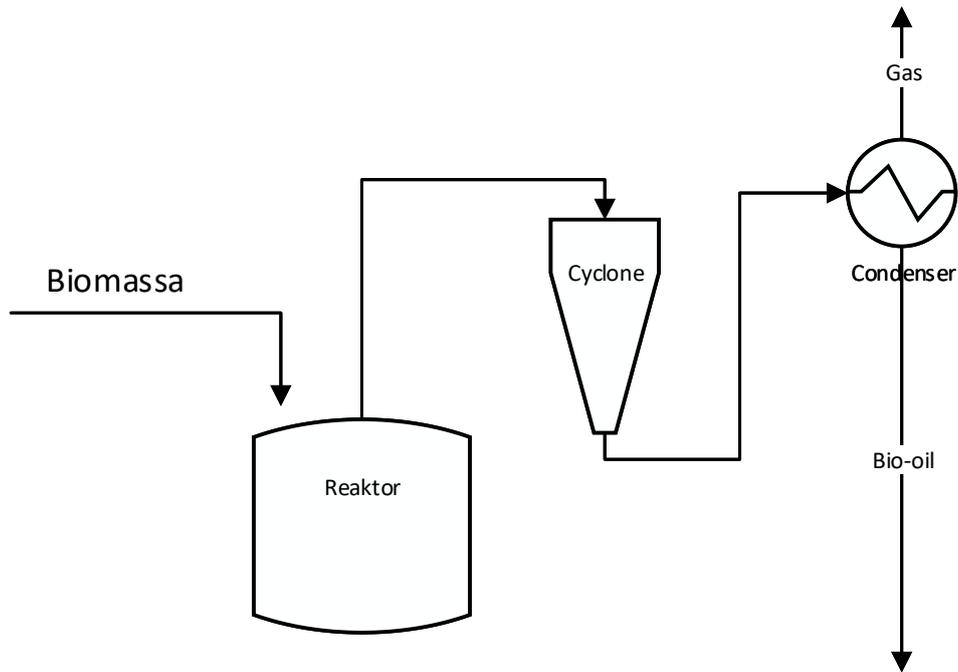
## 2. Metodologi

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat tandan kosong kelapa sawit. Sedangkan alat yang digunakan adalah reaktor furnace, pipa stainless steel, burner, cyclone, condenser, thermal control, neraca analitik, stopwatch, gelas ukur, gelas beker, statip dan klem, buret, corong, oven, dan botol sampel. Limbah padat TKKS yang digunakan terlebih dahulu dipotong dan diseragamkan ukurannya menjadi 5-10 cm. Selanjutnya TKKS dikurangi kadar airnya dengan cara dijemur dibawah sinar matahari.

Selanjutnya limbah biomassa TKKS diproses dengan memanaskannya ke dalam reaktor. Dalam proses pirolisis digunakan reaktor yang terbuat dari stainless steel dengan diameter ±35 cm dan tinggi ±60 cm. Reaktor dipanaskan dengan burner gas elpiji dan diatur temperaturnya menggunakan thermal control sehingga mencapai suhu operasi sesuai variable penelitian.

Produk yang dihasilkan adalah gas, cairan organic, dan arang. Gas yang dihasilkan kemudian dikondensasi menggunakan condenser untuk mendapatkan cairan yang dinamakan bio-oil. Sementara gas yang tidak dapat dikondensasi dibakar melalui pipa *flare*.

Bio-oil yang dihasilkan selanjutnya dianalisa menggunakan GC-MS untuk mengetahui kandungan kimiawinya.



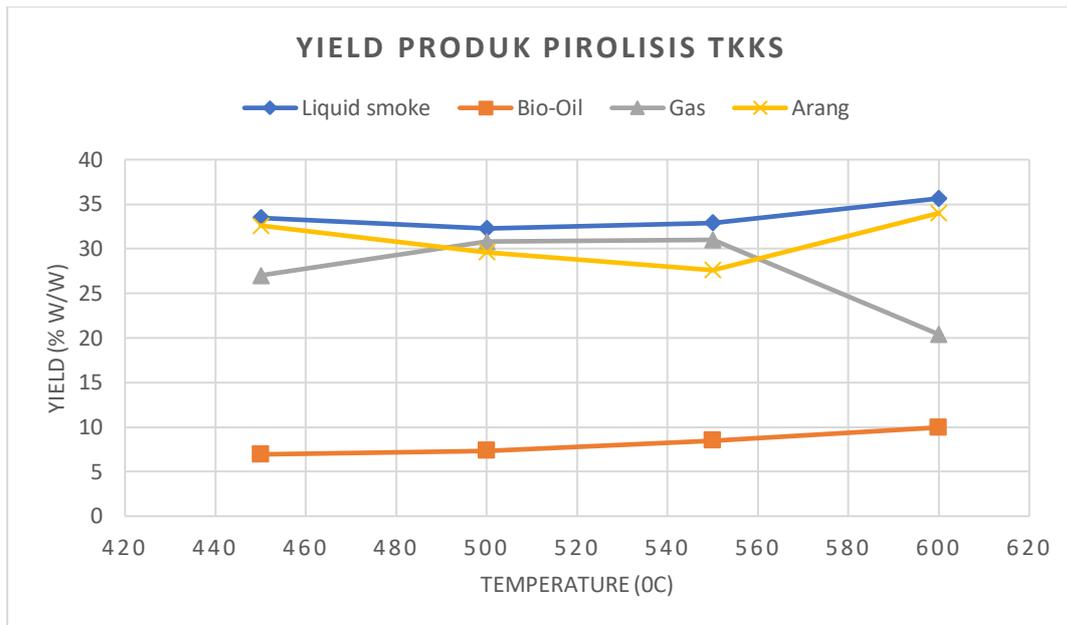
Gambar 1. Skema alat pirolisis

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam tahap awal penelitian dilakukan proses pirolisis dengan lama waktu pirolisis 30 menit, 45 menit, 60 menit, dan 120 menit untuk mencari kondisi operasi optimum. Dari hasil pengamatan diketahui bahwa terjadi peningkatan hasil cairan yang dihasilkan dengan lama waktu 30 menit ke 60 menit. Dan hasil cairan yang dihasilkan pada lama waktu pirolisis 60 menit tidak berbeda dengan 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa hasil optimum pirolisis tercapai pada kisaran waktu pirolisis  $\pm 60$  menit. Sehingga untuk variasi 4 macam suhu lainnya yaitu 450 0C, 500 0C, 550 0C, dan 600 0C digunakan pirolisis dengan lama waktu 60 menit.

#### 3.1 Pengaruh variasi suhu terhadap yield hasil produk pirolisis

Hasil produk pirolisis yang selanjutnya disebut sebagai yield adalah persentase perbandingan antara berat bagian yang dapat dimanfaatkan dengan total bahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan tren yield produk cairan seiring dengan meningkatnya suhu proses pirolisis. Dari pengujian yang dilakukan dengan 4 variasi suhu yaitu 450 0C, 500 0C, 550 0C, dan 600 0C, diperoleh hasil produk sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik suhu vs yield produk pirolisis TKKS

Dari hasil analisis pada grafik di atas, dapat diketahui bahwa yield gas yang dihasilkan berkisar antara 20,4%-31%, dengan yield terbesar diperoleh pada suhu 550<sup>0</sup>C dan yield terkecil pada suhu 600<sup>0</sup>C. Yield arang berkisar antara 27.6%-34%, dengan yield terbesar diperoleh pada suhu 600<sup>0</sup>C dan yield terkecil diperoleh pada suhu 550<sup>0</sup>C.

Liquid atau cairan hasil pirolisis merupakan gabungan antara produk cair (terdiri atas asam pirolignat atau cuka kayu) dan fase minyak (pyrolytic oil). Produk cair juga dikenal dengan istilah asap cair (liquid smoke) yang dalam pengaplikasiannya banyak digunakan sebagai bahan pengawet makanan. Fase minyak (pyrolytic oil) inilah yang selanjutnya disebut sebagai bio-oil. Yield liquid yang dihasilkan berkisar antara 39,6%-45,6%. Setelah yield liquid dipisahkan diperoleh bio-oil dengan yield berkisar antara 6,94%-9,96%, dimana yield terbesar diperoleh pada suhu 600<sup>0</sup>C dan yield terkecil pada suhu 450<sup>0</sup>C.

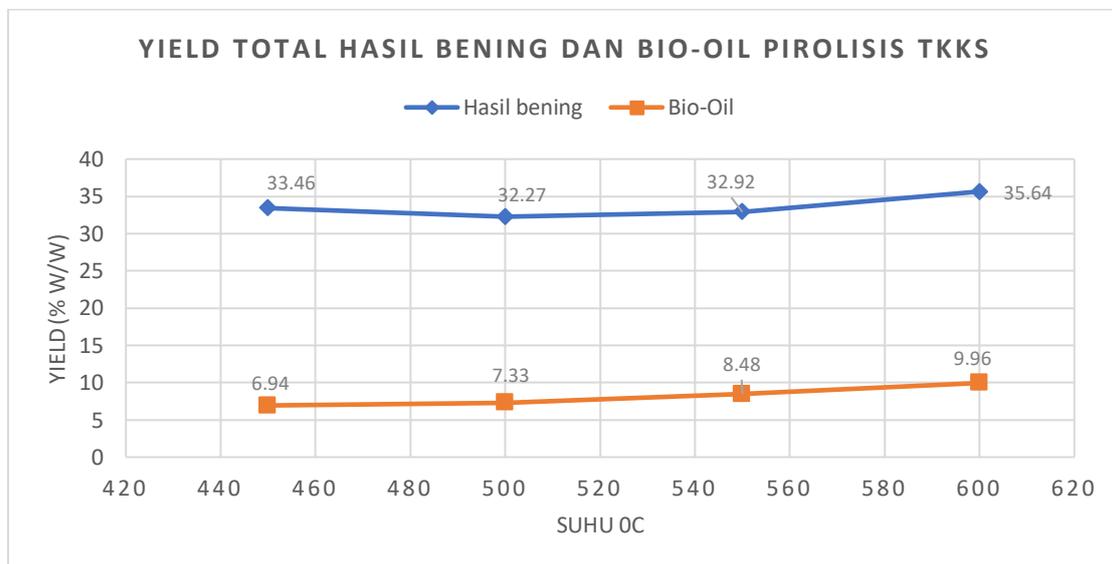
Terdapat pengaruh suhu terhadap hasil yield pirolisis. Yield gas memiliki kecenderungan peningkatan pada suhu 450<sup>0</sup>C sampai 550<sup>0</sup>C, namun terjadi penurunan pada suhu 600<sup>0</sup>C. Yield arang memiliki kecenderungan penurunan seiring dengan meningkatnya suhu, yaitu terjadi penurunan pada suhu 450<sup>0</sup>C-550<sup>0</sup>C, namun terjadi peningkatan pada suhu 600<sup>0</sup>C. Hal ini dapat disebabkan karena semakin tingginya suhu maka waktu yang diperlukan untuk proses dekomposisi termal semakin pendek sehingga gas yang dihasilkan sedikit.

Hasil berbeda ditunjukkan yield liquid, dimana yield liquid cenderung meningkat dengan meningkatnya suhu proses pirolisis. Yield terbesar dihasilkan pada suhu 600<sup>0</sup>C. Hal ini disebabkan karena makin tingginya suhu pirolisis, zat-zat biomassa (selulosa, hemiselulosa,

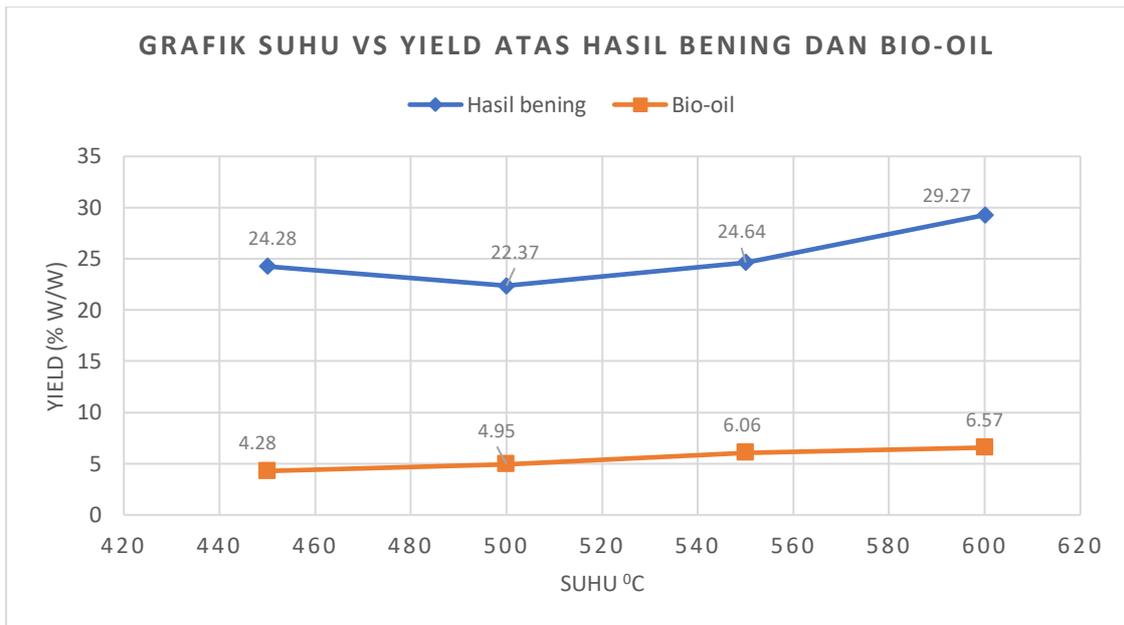
dan lignin) yang terdekomposisi semakin banyak. Selulosa dan hemiselulosa mulai terdekomposisi pada kisaran suhu 350<sup>0</sup>C dan terdekomposisi secara menyeluruh pada kisaran suhu 450<sup>0</sup>C-500<sup>0</sup>C. Sedangkan lignin baru mulai terdekomposisi pada kisaran suhu 350<sup>0</sup>C-400<sup>0</sup>C (Jurnal Teknologi Pertanian, 2015). Ini yang menyebabkan yield bio-oil meningkat seiring dengan bertambahnya suhu pirolisis.

### 3.2 Hasil Bening (Liquid smoke) dan Bio-Oil

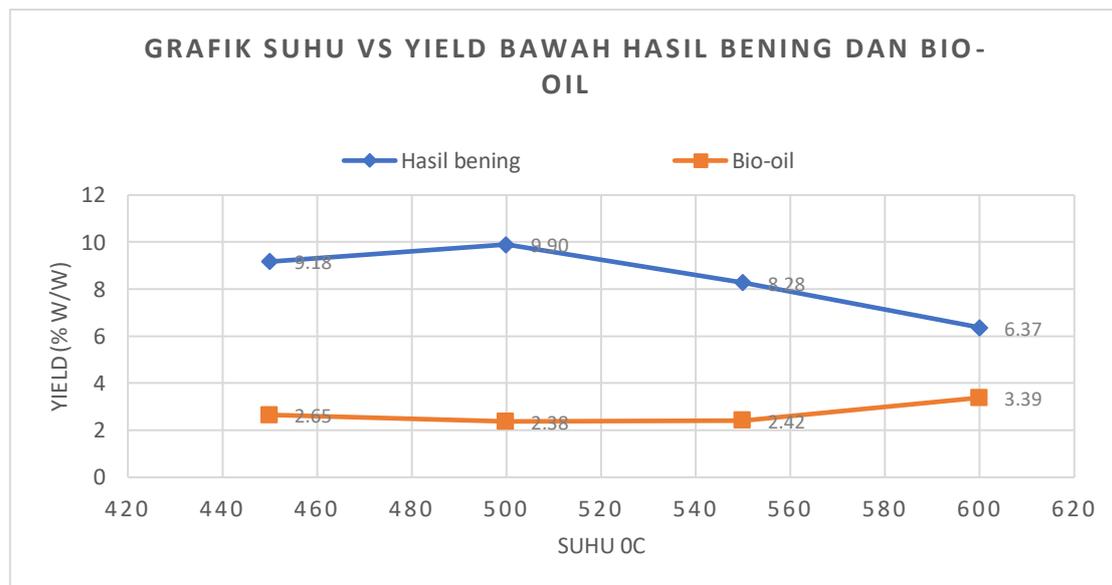
Liquid atau cairan hasil pirolisis merupakan gabungan dari produk cair dan fase minyak. Produk cair dikenal dengan liquid smoke yang selanjutnya disebut sebagai hasil bening dan fase minyaknya disebut sebagai hasil kental (bio-oil). Dari hasil penelitian yang dilakukan diperoleh yield bio-oil tertinggi pada suhu 600<sup>0</sup>C.



Gambar 3. Grafik suhu vs hasil bening dan bio-oil keseluruhan



Gambar 4. Grafik suhu vs yield atas hasil bening dan bio-oil



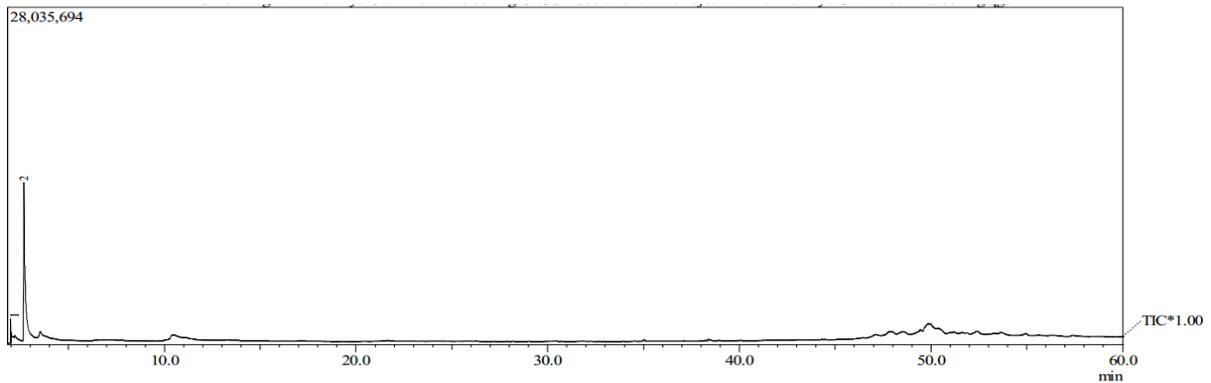
Gambar 5. Grafik suhu vs yield bawah hasil bening dan bio-oil

Suhu 600°C memberikan hasil yield bio-oil terbesar. Hal ini memberikan indikasi bahwa semakin tingginya suhu maka akan semakin banyak komponen-komponen biomassa yang terdekomposisi, yang menyebabkan hasil bio-oil meningkat. Penelitian yang dilakukan Imam & Catreda (2012) juga menyatakan hal yang sama bahwa semakin tinggi suhu menyebabkan peningkatan degradasi lignin sehingga kandungan bio-oil bertambah.

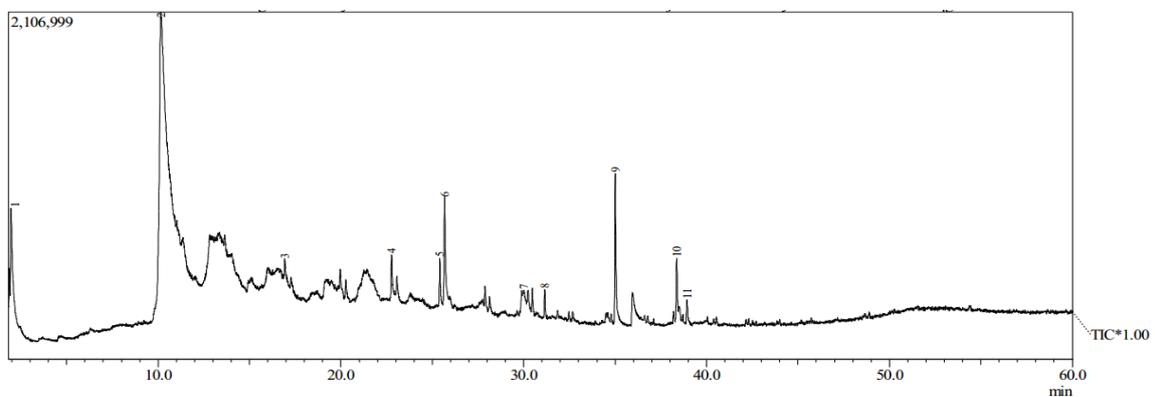
### 3.3 Analisis GC-MS

Sebagai produk hasil pirolisis, *liquid* yang terdiri atas hasil bening dan kental (bio-oil) dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui kandungan komponen senyawa kimia yang terdapat

di dalamnya. Dalam penelitian ini dilakukan uji GC-MS pada yield atas hasil bening dan kental (bio-oil).

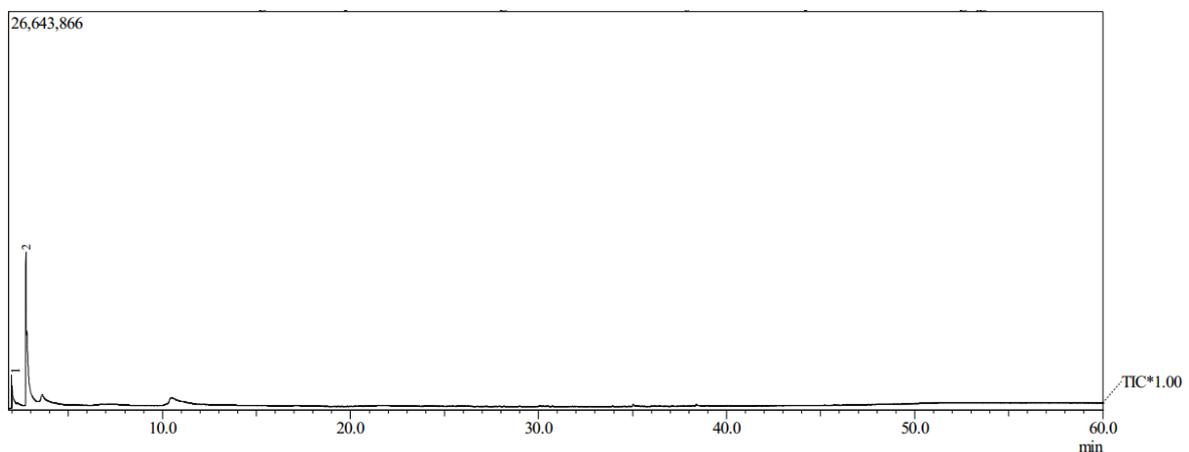


Gambar 6. Grafik GCMS hasil bening suhu 450°C

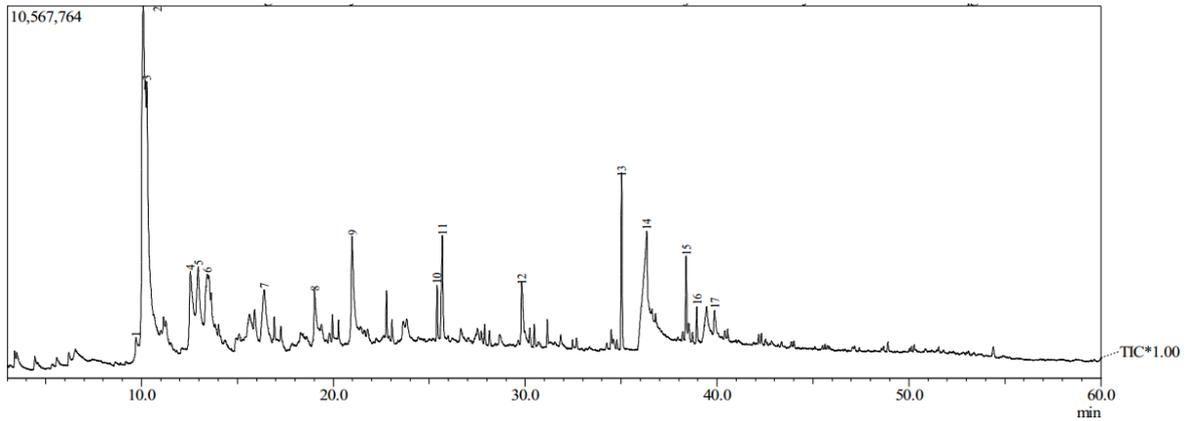


Gambar 7. Grafik GCMS bio-oil suhu 450°C

Komponen kimia hasil bening suhu 450°C terdapat 2 komponen yaitu *acetic acid* 96,49%, dan *1,1-dichloropropane* 3,51%. Sedangkan komponen kimia bio-oil suhu 450°C terdapat sebanyak 11 komponen yang didominasi oleh *phenol* 67,37%, *hexadecenoic acid* 6,65%, *acetone* 5,93%, *tetradecane* 5,62%, dan *2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)* 4,58%.

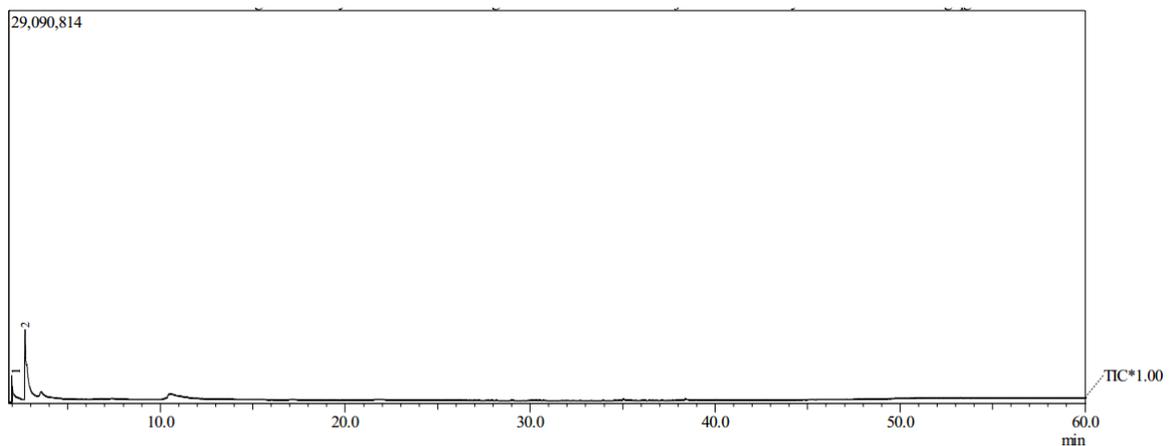


Gambar 8. Grafik GCMS hasil bening suhu 500°C

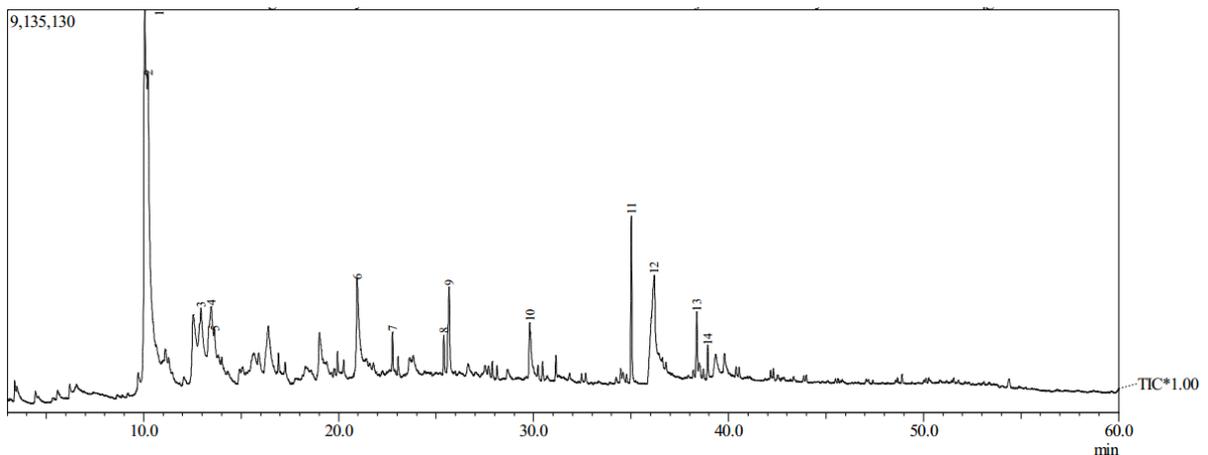


Gambar 9. Grafik GCMS bio-oil suhu 500°C

Komponen kimia hasil bening suhu 500°C terdapat 2 komponen yaitu *acetic acid* 88,61%, dan *trans-dideuterioxy-cyclopentene* 11,31%. Sedangkan komponen kimia bio-oil suhu 500°C terdapat sebanyak 17 komponen yang didominasi oleh *phenol* 28,99%, *1-bromo-2-methylbutane* 14,8%, *palmitic acid* 9,8%, *2,6-dimethoxyphenol* 5,72%, dan *cresol* 5,69%.

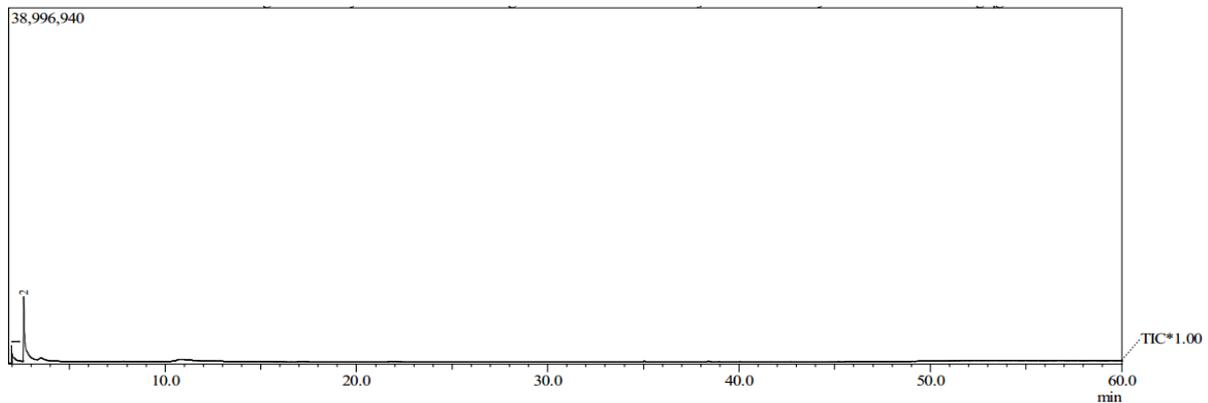


Gambar 10. Grafik GCMS hasil bening suhu 550°C

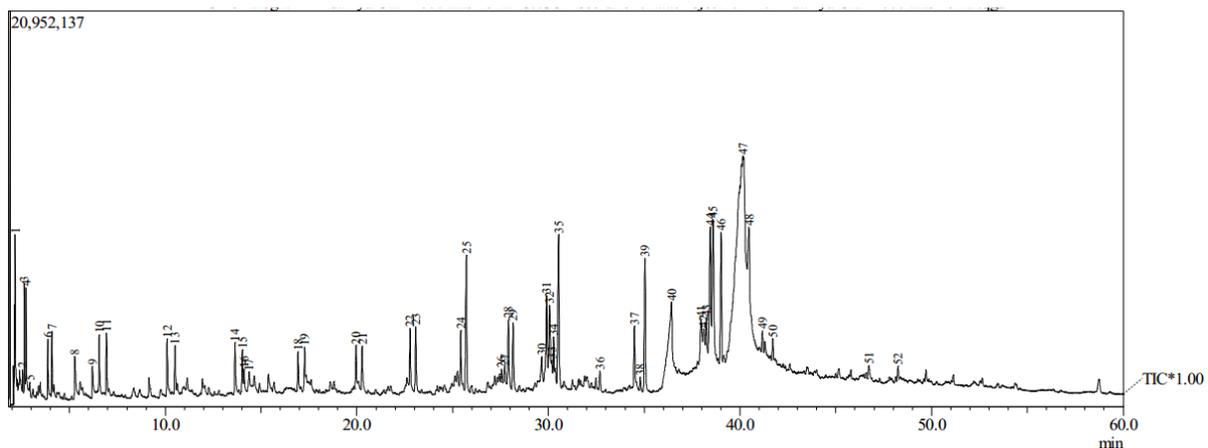


Gambar 11. Grafik GCMS bio-oil suhu 550°C

Komponen kimia hasil bening suhu 550<sup>0</sup>C terdapat 2 komponen yaitu *acetic acid* 88,96%, dan *hexaborane-12* 11,04%. Sedangkan komponen kimia bio-oil suhu 550<sup>0</sup>C terdapat sebanyak 14 komponen yang didominasi oleh *phenol* 26,94%, *2-furanmethanol* 18,11%, *2-methylphenol* 12,11%, *hexadecenoic acid* 10,33%, dan *2,6-dimethoxyphenol* 6,48%.



Gambar 12. Grafik GCMS hasil bening suhu 600<sup>0</sup>C



Gambar 13. Grafik GCMS bio-oil suhu 600<sup>0</sup>C

Komponen kimia hasil bening suhu 600<sup>0</sup>C terdapat 2 komponen yaitu *acetic acid* 84,37%, dan *hexaborane-12* 15,63%. Sedangkan komponen kimia bio-oil suhu 600<sup>0</sup>C terdapat sebanyak 52 komponen yang didominasi oleh *oleic acid* 32,54%%, *octadecanoic acid* 6,49%, *methyl heptadecyl ketone* 4,12%, *9-octadecanoic acid* 3,93%, *eicosane* 3,56% dan hasil lainnya yang berupa senyawa-senyawa hidrokarbon dalam jumlah kecil. Pada proses pirolisis TKKS suhu 600<sup>0</sup>C tidak terdeteksi adanya kandungan senyawa *phenol*.

Dari hasil analisis GCMS ini dapat dilihat bahwa hasil bening banyak mengandung *acetic acid* yang menurut Kanellos (2009) *acetic acid* yang dikombinasikan dengan hydrogen berperan penting dalam produksi etanol, dimana dua pertiga energi di dalam etanol berasal dari *acetic acid* dan sepertiganya berasal dari penambahan hydrogen.

Sementara bio-oil (hasil kental) suhu 450<sup>0</sup>C-550<sup>0</sup>C banyak mengandung senyawa turunan benzene yaitu *acetone*, *ester*, *phenol*, dan beberapa komponen yang termasuk mudah terbakar seperti *1-bromo-2-methylbutane*, *furanmethanol (furfuril alcohol)*. Sedangkan bio-oil suhu 600<sup>0</sup>C mengandung senyawa *oleic acid* (asam oleat) dalam jumlah yang banyak dimana senyawa ini merupakan bahan untuk memproduksi biodiesel melalui proses transesterifikasi dengan mereaksikannya dengan methanol dan penambahan katalis. Serta sisanya terdapat senyawa-senyawa turunan hidrokarbon seperti *hexane*, *cyclohexane*, *nonane*, *decane*, dan *eicosane*. Dari hasil ini juga terlihat indikasi bahwa proses pemecahan senyawa biomassa TKKS menjadi senyawa-senyawa hidrokarbon baru mulai terjadi ketika suhu proses pirolisis tinggi.

#### **4. Kesimpulan**

Bio-oil yang dihasilkan akan meningkat dengan meningkatnya suhu, dengan yield bio-oil maksimum pada suhu 600<sup>0</sup>C. Analisa bio-oil dengan gas chromatography dapat disimpulkan bahwa kandungan senyawa kimia produk hasil bening didominasi oleh *acetic acid*. Sedangkan bio-oil didominasi oleh senyawa turunan lignin yaitu *phenol*, asam organik dan senyawa karbonil seperti *acetone*, *ester* serta beberapa senyawa mudah terbakar *1-bromo-2-methylbutane*, *furanmethanol (furfuril alcohol)* dan senyawa-senyawa hidrokarbon dalam jumlah sedikit.

#### **5. Saran**

Perlunya kajian modifikasi-modifikasi metode pirolisis agar didapat hasil dengan yield dan selektivitas bio-oil yang besar baik dengan menggunakan katalis ataupun contoh metode *free fall pyrolysis* dengan tambahan *ESP (electrostatic precipitator)* seperti yang pernah dilakukan oleh Zhang, Xu, Zhao, & Liu (2007) dengan yield cairan mencapai 73%.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Browsord, P.A., "*Biomass Pyrolysis Processes: Performance Parameters and Their Influence On Biochar System Benefits*", Dissertation, University of Edinburgh, 2009.
- Ginting, Agus S., Tambunan, A.H., & Setiawan, Radite P.A., "*Karakteristik Gas-Gas Hasil Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit*", Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 2015.
- Haji, Abdul Gani., et al, "*Characterization of Liquid Smoke Pyrolyzed from Solid Organic Waste*", Jurnal Kimia FKIP Universitas Syiah Kuala, 2010.

- Hu, Xun., et al., “*Upgrading of Bio-Oil via Acid-Catalized Reactions in Alcohols – A mini review*”, Elsevier Journal, 2016.
- Khaldun, Ibnu., & Haji, Abdul Gani., “*Potensi Asap Cair Hasil Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Biopestisida Antifeedant*”, Makalah disampaikan pada Seminar Nasional Sains & Teknologi III, Lembaga Penelitian, Universitas Lampung, 18-19 Oktober 2010.
- Lazzari, Eliane., et al., “*Production and Chromatographic Characterization of Bio-Oil from The Pyrolysis of Mango Seed Waste*”, Elsevier Journal, 2015.
- Sunarno., & Akbar, Fajril. “*Pirolisis Katalitik Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio – Oil dengan Katalis HZSM-5*”, Jurnal Teknik Kimia Unri, Vol 11, 2013.
- Wibowo, Santiyo., & Hendra, Djeni., “*Karakteristik Bio-oil dari Rumput Gelagah Menggunakan Proses Pirolisis Cepat*”, Jurnal Penelitian Hasil Hutan, Vol 33 No. 4, 2015.