

Analisis Karakteristik Tandan Kosong Sawit Menggunakan Metode FT-IR dan Pirolisis-GCMS

Joni^{1✉}, Radite Praeko Agus Setiawan², Kiman Siregar³

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Indonesia

² Departemen Teknik Mesin & Biosystem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Indonesia

³ Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 27-01-2023

Direvisi : 30-01-2023

Diterima : 31-01-2023

Kata Kunci:

Tandan Kosong Sawit,
Pirolisis, Nilai Kalor, Uji
Kandungan Kimia.

Keywords:

*Empty Fruit Bunches,
Pyrolysis, Calorific Value,
Chemical Contents.*

Corresponding Author:

Joni

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih

Kampus Baru Uncen Waena, Jl. Kamp Wolker, Yabansai, Heram, Kota Jayapura, Papua

Email: me.uncen@gmail.com

ABSTRAK

Tandan kosong sawit (TKS) adalah limbah hasil dari proses pengolahan minyak sawit yang terdiri dari serat dan kulit yang masih mengandung minyak. TKS dapat digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik atau dalam proses pirolisis untuk menghasilkan bio-oil, biogas, dan biochar. Penelitian ini adalah untuk menganalisis komposisi kimia dan menentukan profil karakteristik tandan kosong sawit menggunakan metode FT-IR dan Pirolisis-GCMS. Ini membantu untuk memahami lebih baik tentang kualitas tandan kosong sawit dan potensinya sebagai sumber bahan baku. Hasil uji menunjukkan kandungan kimia TKS yang beragam dan gugus-gugus fungsional seperti hidrokarbon, alkohol, aldehyde, asam, hidroksi, karboksilat, keton, klorida, nitrat, nitril, amina, fenol, hidrogen sulfida, sulfur, dan oksigen. Nilai kalor TKS bervariasi antara 4.000 - 4.400 kkal atau 16,6 - 18,48 kJ per metrik ton. Pirolisis pada suhu 400°C menghasilkan senyawa yang memiliki gugus hidrokarbon alifatik dan asiklik, serta kandungan metana yang lebih tinggi.

ABSTRACT

Empty palm fruit bunches (EFB) are waste from palm oil processing consisting of fibers and skins that still contain oil. EFB can be used as fuel for power plants or in the pyrolysis process to produce bio-oil, biogas and biochar. This research analyzes the chemical composition and determines the profile characteristics of EFB using the FT-IR and Pyrolysis-GCMS methods. This helps to better understand the quality of EFB and their potential as a raw material source. The test results showed that EFB contains various chemical and functional groups such as hydrocarbons, alcohols, aldehydes, acids, hydroxides, carboxylates, ketones, chlorides, nitrates, nitriles, amines, phenols, hydrogen sulfide, sulfur, and oxygen. The calorific value of EFB varies between 4,000-4,400 kcal or 16.6-18.48 kJ per metric ton. Pyrolysis at 400°C produces compounds with aliphatic and cyclic hydrocarbon groups, as well as a higher methane content.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki keanekaragaman potensi sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar, baik dalam bentuk cair (biodiesel, bioetanol), gas (biogas), padat (kayu pellet, arang) untuk pembangkit listrik. Salah satu jenis biomassa tersebut berasal dari limbah pengolahan kelapa sawit, seperti tandan kosong sawit (TKS). Tanaman perkebunan kelapa sawit Indonesia merupakan yang terbesar di dunia dengan luasan lahan mencapai 12.307,677 ha yang tersebar di 25 provinsi dan produksi mencapai 35.359.384 ton. Jumlah limbah tandan kosong sawit (TKS) diperkirakan sebanyak 23% dari jumlah tandan buah segar olahan atau sebesar 8.132.658,32 ton (Direktorat Jendral Perkebunan, Kementan 2019).

Setiap ton tandan kosong sawit mengandung 52,9% *selulosa*, 28,0% *hemiselulosa*, 18,8% *lignin*. Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit yang melimpah merupakan potensi yang besar untuk dimanfaatkan guna memenuhi kebutuhan energi listrik bagi daerah-daerah terpencil di sekitar industri pengolahan kelapa sawit. Jika jumlah TKS kering mencapai 3,253,063.33 ton dengan nilai kalor atas (HHV) rata-rata basis kering mencapai 18,91 MJ/kg, maka total energi yang dapat dimanfaatkan sebesar 64,25 GJ. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (2015) menyebutkan bahwa potensi biomassa yang ada mampu menghasilkan energi sebesar 50 GW dengan pemanfaatan yang belum optimal, yaitu 5%. Untuk mengoptimalkan penggunaannya pemerintah mendukung melalui peraturan-peraturan sehingga mampu mencapai target penggunaan sebesar 23%.

Setiap tahun, pohon kelapa sawit menghasilkan rata-rata 12 tandan buah segar yang beratnya sekitar 15 – 25 kg per tandan. Satu hektar lahan perkebunan kelapa sawit dapat ditanami 148 pohon kelapa sawit dan menghasilkan panen tandan buah segar (TBS) sekitar 54 ton (). TBS terdiri dari sekitar 25 – 26 % minyak serat buah, 20 – 22 % kacang, 9 – 10 % cangkang 28 – 30% tandan kosong sawit (TKS), 14 – 16 % serat buah (Corley dan Tinker 2003). Hal ini menunjukkan bahwa jumlah limbah TKS yang diperoleh dari panen TBS mencapai 15,12 – 16,2 ton/hektar.

Limbah tandan kosong sawit yang merupakan hasil sampingan dari proses pengambilan biji, dengan kandungan air mencapai 61 – 72 %. TKS memiliki potensi yang cukup besar diaplikasikan pada bidang industri, yaitu bidang material, bidang kimia dan bidang energi. Struktur kimia biomassa secara umum terdiri dari 3 senyawa utama, yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin, dengan komposisi masing-masing 23,7 – 65,0 %; 20,6 – 33,5 % dan 14,1 – 30,45 %; sedangkan nilai kalor atas (HHV) rata-rata biomassa TKS basis kering mencapai 18,91 MJ/kg (Joni *et al.* 2019).

Produk sampingan pengolahan kelapa sawit, khususnya TKS banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan bio-material yang dikombinasikan dengan bahan lain untuk menghasilkan papan partikel (*furniture*). Sedangkan dalam bidang energi dan bahan kimia, dapat diolah menjadi beberapa turunan produk yang dapat dikembangkan untuk pemenuhan bahan baku industri. (Abdulrazik *et al.* 2017). Pemanfaatan TKS sebagai sumber energi dapat diperoleh dengan menerapkan sistem konversi yang tepat. Teknologi konversi biomassa yang umum digunakan yaitu proses konversi termokimia dan konversi biokimia. Konversi termokimia terdiri dari 3, yaitu pirolisis, gasifikasi, dan pencairan. Proses pirolisis memiliki keterbatasan pemrosesan *syngas* untuk digunakan secara langsung, Sedangkan pada proses pirolisis memiliki keunggulan, di antaranya cairan pirolisa yang dihasilkan dapat diproses lebih lanjut, dan *syngas* dapat digunakan langsung setelah dibersihkan untuk bahan bakar langsung ataupun dicampur dengan bahan bakar lain, seperti solar. Konversi biokimia umumnya dilakukan untuk menghasilkan gas-gas metana (CH₄) melalui proses fermentasi. Pada proses ini sebagian besar selulosa yang terkandung dalam biomassa akan diurai menjadi gas metana dengan bantuan mikroba.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah tandan kosong sawit (TKS) yang diperoleh dari lokasi pabrik pengolahan di Cikasungka. TKS ini berupa bagian-bagian ranting buah yang telah dipisahkan dari tongkolnya dan diambil dengan berat 200 mg terdiri dari 3 sampel, yaitu sampel A, B dan C. Ketiga sampel ini dilakukan pengujian kadar air menggunakan oven yang dioperasikan selama 24 jam pada suhu 105°C. Sampel yang telah dipreparasi dalam bentuk bubuk sesuai standar pengujian laboratorium untuk dikarakterisasi. Uji analisis *ultimate* dan *proximate*, membutuhkan sampel bubuk TKS seberat 200mg, uji FT-IR 10mg dan uji pirolisis-GCMS 10mg.

Metode

Identifikasi karakteristik tandan kosong sawit dan gas hasil pirolisis melibatkan beberapa langkah. Pertama, tandan kosong sawit diuji elemental untuk mendapatkan nilai kandungan unsur utamanya seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, karbon terikat, zat terbang dan abu. Kedua, menentukan pembentukan gugus fungsi senyawa yang terdapat pada masing-masing sampel. Ketiga, sampel di pirolisis untuk mendapatkan gas dan diuji untuk mengidentifikasi komposisi senyawa kimianya.

Analisis *Ultimate* dan *Proximate*

Analisis *ultimate* biomassa melibatkan penentuan jumlah unsur yang terkandung dalam biomassa, termasuk karbon, hidrogen, belerang, dan nitrogen. Metode standar yang digunakan adalah ASTM D3178 (karbon), ASTM D3179 (hidrogen), ASTM D3177 (belerang), ISO 334 (nitrogen) dan ISO 351 (nilai kalor). Adapun kandungan oksigen ditentukan berdasarkan perbedaan unsur-unsur tersebut. Analisis *proximate* bertujuan untuk mengukur kadar air (MC), zat terbang (VM), karbon tetap (FC) dan abu. Sampel TKS 200 mg dipanaskan dalam termobalance hingga 700°C pada berbagai laju pemanasan (0,5 – 50°C/menit) di bawah aliran nitrogen (70 mL/menit).

Nilai Kalor

Pengukuran nilai kalor atas sampel TKS menggunakan alat *bomb calorimeter* berdasarkan pada standar SNI 01-1506-1989 (BSN 1989) yang dilakukan di Laboratorium Batubara Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (TekMira)-Bandung, Jawa Barat. Nilai kalor dinyatakan dalam nilai kalor kasar (*gross caloric value*, cal/gr).

Uji FTIR

Fourier Transforms Infrared (FTIR) merupakan salah satu alat untuk menentukan serapan suatu senyawa yang terkandung dalam suatu bahan, dengan bilangan gelombang 400 – 4000 cm^{-1} . Sampel bubuk TKS dengan berat 4 – 5mg di masukan ke dalam wadah mortar yang bersih untuk dibuat pelet dan diaduk hingga homogen, kemudian ditambahkan 400 – 500mg kalium bromida (KBr) dengan konsentrasi standar 1 %, diaduk hingga tercampur secara merata. Memasang alat pres dengan memasukkan cakram *stainless steel* ke dalam tabung dengan posisi bagian mengkilap menghadap ke atas. Campuran sampel bubuk TKS dan KBr dipindahkan ke alat pres dan diputar hingga terbentuk permukaan tipis dan rata lalu masukkan bagian *plunger* Alat pres diletakan dalam perangkat hidrofilik lalu tekan dan putar bagian atasnya searah jarum jam hingga terkunci rapat, menekan tutup katup dan menggerakkan tuas ke atas dan bawah dengan tekanan 10 ton selama 2 menit.

Uji pirolisis GCMS

Alat pirolisis-GCMS yang terdiri dari pirolisis dan GCMS. Merek dan tipe alat Pyrolysis-GCMS masing-masing adalah PY-2020iS dan GCMS-QP2010 Shimadzu. Sampel TKS dengan berat sekitar 10 – 100mg ditempatkan dalam wadah dan dipirolisis pada suhu sekitar 400°C tanpa katalisis atau reaksi di bawah aliran gas pembawa helium (He). Produk dekomposisi yang dihasilkan dialirkan ke kolom pemisahan untuk diidentifikasi oleh pirogram. Produk pirolisis dari

sampel umumnya terdiri dari komponen yang sangat kompleks, diman masing-masing mencerminkan struktur aslinya senyawanya. Pyrolysis-GCMS menggunakan kolom kapiler heliks, dan menghasilkan pemisahan yang sangat efisien. Secara terus-menerus mengidentifikasi komponen gas individual dalam pirogram menggunakan spektrometri massa. Selain itu, pemantauan ion total (TIM) dan pemantauan ion terpilih (SIM) sering memberikan informasi pelengkap untuk mengidentifikasi puncak dalam pirogram. (Shin *et al.* 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis ultimate dan proximate TKS

Tabel 1 menunjukkan perbandingan analisis akhir dan perkiraan untuk sampel A, B, dan C. Perkiraan analisis dinyatakan dengan basis basah (wb), sedangkan analisis akhir dinyatakan dengan basis kering (db). Komposisi TKS yang diperoleh adalah $52,08 \pm 7,6\%$ (C); $7,05 \pm 0,53\%$ (H); $2,28 \pm 0,43\%$ (N); $0,35 \pm 0,27\%$ (S) dan $34,84 \pm 4,45\%$ (O); %, karbon terikat (FC) $17,73 \pm 1,33\%$ dan volatile matter (VM) $87,62 \pm 3,39\%$. Variasi konsentrasi unsur dalam biomassa dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain kondisi tanah, umur, waktu panen, penyiapan awal limbah, dan lingkungan. Nilai hidrokarbon yang tinggi dari biomassa berkontribusi pada nilai kalor bahan bakar kelembaban rendah.

Tabel 1. Hasil analisis elemental sampel TKS

Sampel	Analisis proximate (wb %)			Analisis ultimate (db %)					HHV (MJ/kg)
	Abu	FC	VM	C	H	N	S	O	
A	7,40	18,25	89,20	60,40	7,60	2,20	-	29,80	18,74
B	3,74	16,23	89,93	50,32	7,02	1,89	0,72	36,49	21,54
C	7,05	18,73	83,73	45,53	6,54	2,74	0,34	38,24	18,72
Rerata	6,06	17,73	87,62	52,08	7,05	2,28	0,35	34,84	19,67
St.D	2,02	1,33	3,39	7,59	0,53	0,43	0,27	4,45	1,62

Prediksi Nilai kalor TKS

Nilai kalor, juga dikenal sebagai nilai kalorifik, adalah ukuran kandungan energi dari bahan bakar. Ini adalah parameter penting yang digunakan untuk menentukan kualitas bahan bakar dan kesesuaiannya untuk aplikasi yang berbeda. Nilai kalor dari biomassa sangat dipengaruhi oleh komposisi kimianya. Kandungan selulosa alpha yang tinggi positif terkait dengan nilai kalor yang lebih tinggi, sementara kandungan hemiselulosa yang tinggi negatif terkait dengan nilai kalor yang lebih tinggi. Dipercayai bahwa selulosa alpha ikut memberikan kontribusi pada nilai kalor yang lebih tinggi karena sifat kristalnya, sementara hemiselulosa adalah polimer amorf yang mudah terurai di bawah kondisi termal dalam bentuk uap (Basu 2010). Kandungan lignin yang tinggi positif terkait dengan nilai kalor yang lebih tinggi dari biomassa. Telmo dan Lousada (2011) menyatakan bahwa semakin tinggi kandungan lignin suatu biomassa, nilai kalornya semakin baik. Lignin memiliki kandungan oksigen yang rendah dan karbon yang tinggi, sehingga memiliki nilai kalor yang tinggi karena memiliki jumlah karbon terikat yang tinggi dan zat terbang yang rendah.

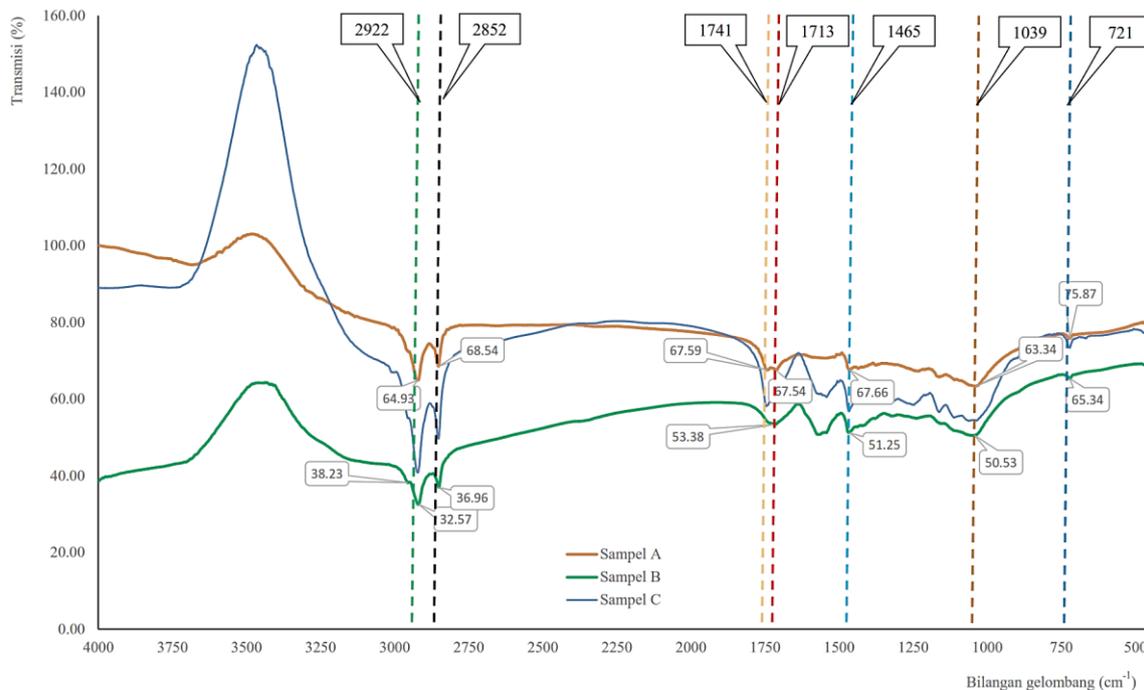
Dari hasil analisis, hubungan komponen uji ultimate berdasarkan fraksi masing-masing elemen (ω) terhadap nilai kalor dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\text{HHV} = +32.792\omega_C + 142.900\omega_H - 17.863\omega_O - 5.650\omega_N + 9.253\omega_S \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan ini menghasilkan nilai error bias rerata (ABE) 1,95% dan *error absolute* rerata (AAE) 8,29%; sehingga pendekatan perhitungan nilai kalor (HHV) dapat menggunakan persamaan ini.

Analisis FT-IR TKS

Komposisi struktural dalam matriks TKS dianalisis menggunakan spektroskopi Fourier transform infrared (FT-IR). Gambar 1 menunjukkan hasil FT-IR sampel A, B dan C. Uji karakteristik FT-IR dimaksudkan untuk mengetahui masing-masing gugus fungsi yang terdapat pada kedua sampel tersebut. Pada sampel ini terbatas pada hemiselulosa, selulosa, dan struktur molekul polisakarida lignin. Hilangnya beberapa pita penyerapan mungkin diakibatkan oleh degradasi struktur dalam matriks sampel atau transformasi beberapa kelompok fungsional menjadi zat yang lebih stabil. Munculnya beberapa pita serapan diasumsikan berasal dari restrukturisasi gugus fungsi yang tidak stabil menjadi struktur yang lebih stabil.



Gambar 1. Diagram gelombang uji FTIR TKS

Pergeseran kelompok fungsional dipengaruhi oleh lingkungan dan perlakuan dengan bahan kimia. Efek dari perlakuan termal diduga menyebabkan degradasi parsial dari struktur hemiselulosa, karena sebagian besar terdiri dari matriks polisakarida yang lemah dalam bentuk amorf (Tabel 1). Namun, tidak ada perubahan signifikan pada pita atau puncak lainnya, yang secara umum dapat menunjukkan bahwa, sisa gugus fungsi yang dikaitkan dengan selulosa, hemiselulosa, dan lignin masih sangat kuat dan tidak terpengaruh oleh kondisi dari sampel.

Tabel 2. Interpretasi hasil FT-IR sampel TKS

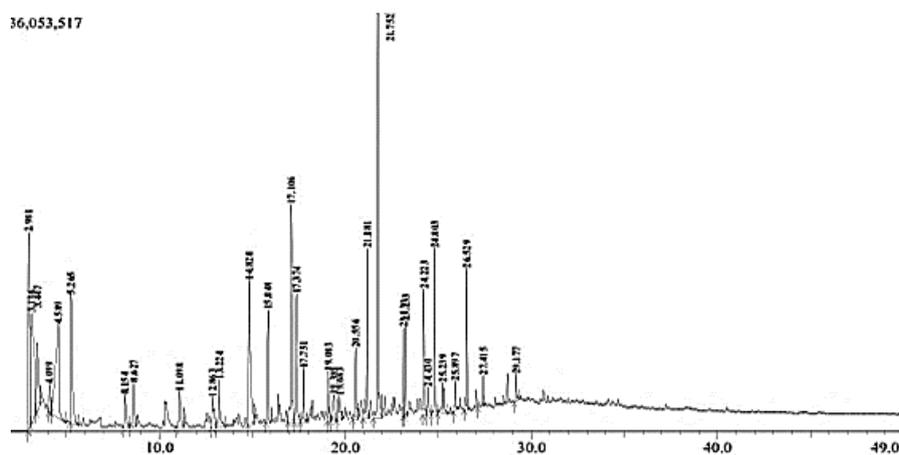
Bilangan gelombang	Identifikasi gugus fungsi	Kelompok senyawa	Ref.
2922 dan 2852	-CH ₂ - stretching	Alkanes (CH, CH ₂ , CH ₃)	Pua <i>et al.</i> , 2013
1741 dan 1713	C=O stretching	C=O stretching (unconjugated ketone, carbonyl, and ester groups)	Zhao <i>et al.</i> , 2009
1576	C=C stretching, C=N stretching	C-C stretching (aromatic ring)	Zhao <i>et al.</i> , 2009
1465	C-H stretching	Alkanes stretching (cellulose, hemi-cellulose; lignin)	Pua <i>et al.</i> , 2013
1049	C-O stretching	Alcohol stretching (cellulose and hemi-cellulose; lignin)	Pua <i>et al.</i> , 2013
721	C-H bending	Benzena ring	Pavia <i>et al.</i> , 2013

Spektra FT-IR dari ketiga sampel menunjukkan bahwa perubahan band kuat yang paling signifikan adalah antara 2922 cm^{-1} dan 2852 cm^{-1} . Puncak pada 2922 cm^{-1} milik getaran peregangan C–H dari kelompok metil, metilen, dan metoksi (El-Meligy *et al.* 2004). Beberapa perubahan signifikan puncak antara 1741 cm^{-1} dan 1029 cm^{-1} juga diperhatikan dalam hal absorbansi IR atau amplitudo. Namun, analisis kualitatif yang digunakan dalam penelitian ini tidak dapat mengukur perbedaan antara sampel.

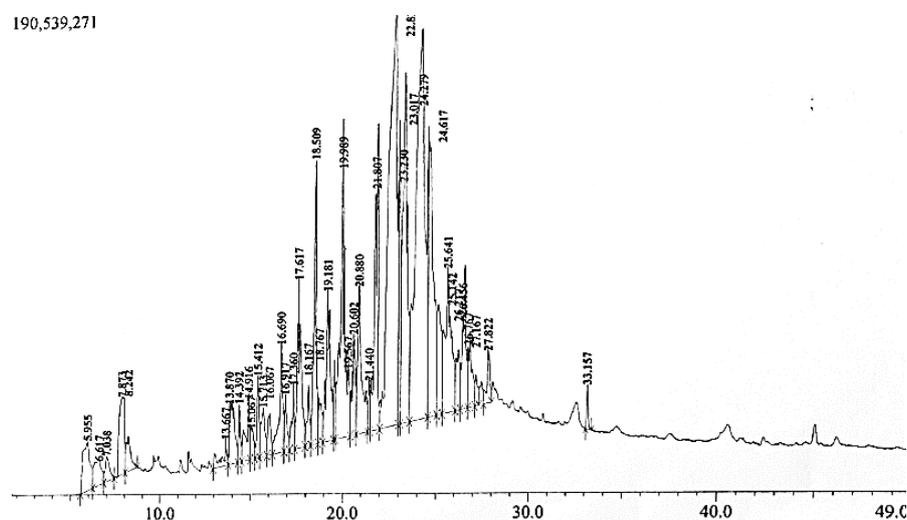
Hasil FT-IR tandan kosong sawit dapat menunjukkan adanya komponen seperti lignin, hemiselulosa, selulosa, dan minyak yang terkandung di dalamnya. Hasil analisis FT-IR dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas tandan kosong sawit dan menentukan potensi pemanfaatannya.

Analisis hasil pirolisis

Gambar 2 – 4 menunjukkan hasil pembacaan senyawa-senyawa organik dalam bentuk kromatografi dari 3 (tiga) sampel TKS yang diuji pirolisis-GCMS pada suhu ruang pirolisis 400°C dan suhu GCMS 280°C yang berlangsung kurang lebih 30 – 45 menit dengan sejumlah senyawa-senyawa organik 32 – 40 jenis. Senyawa tersebut umumnya didominasi berupa asam lemak dan sebagian lagi fenol yang merupakan ciri utama dekomposisi suhu rendah.



Gambar 2. Diagram kromatogram gas hasil uji pirolisis sampel A

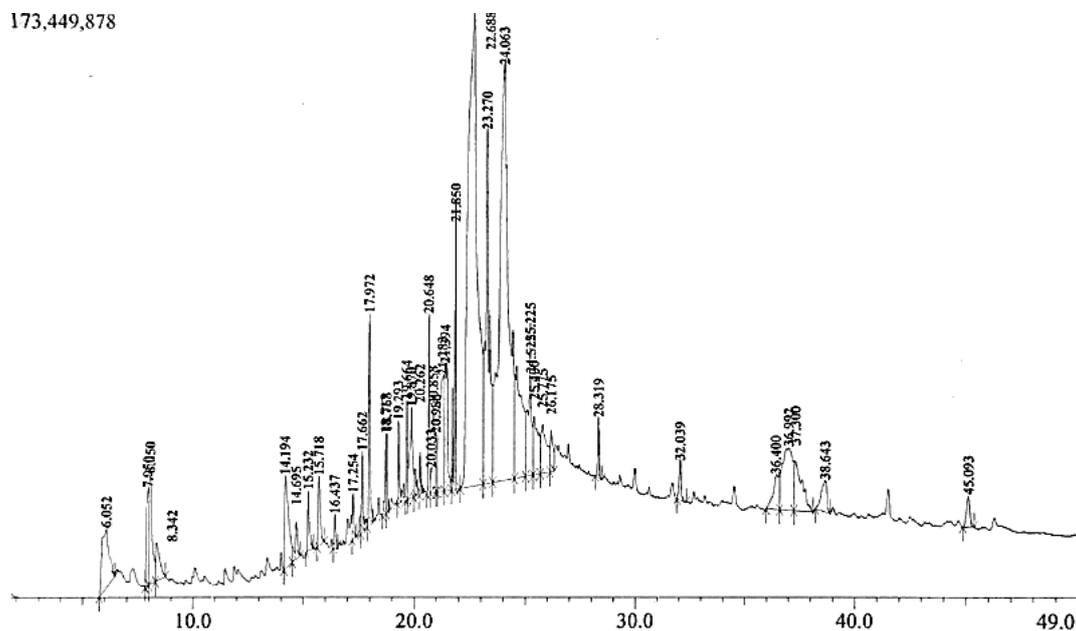


Gambar 3. Diagram kromatogram gas hasil uji pirolisis sampel B

(Zeng X, *et al* 2017) menjelaskan proses dekomposisi selulosa, lignin dan hemiselulosa meliputi dua tahap, yaitu 1) pada suhu pirolisis $329 - 350^{\circ}\text{C}$, selulosa dan hemiselulosa mengalami reaksi depolimerisasi dan dehidrasi membentuk senyawa karboksilaldehida furan dan 2-furan; 2)

pada suhu tinggi 400 – 471°C, ikatan C = O terputus dan terbentuk senyawa β -metoksi-(S)-2-furan etanol dan tetrahidro-2,5-dimetoksi-furan. Sedangkan dekomposisi lignin meliputi depolimerisasi, dehidrasi, perengkahan, dan hidrogenasi yang relatif rumit. Lignin terdepolimerisasi dan terdehidrasi menjadi propenylguaiacol pada suhu rendah 329 – 350°C. Propenylguaiacol kemudian dapat dihidrogenasi pada suhu 350 – 400°C menjadi propylguaiacol. Perengkahan lignin dan guaiacol terjadi pada suhu 350 – 471°C, dan posisi pemutusan ikatan C–C berhubungan erat dengan suhu. Selanjutnya, pemutusan ikatan C_{β} – C_{γ} terjadi pada suhu 350°C, diikuti pemutusan ikatan C_{α} – C_{β} pada suhu 400°C, dan ikatan C_4 – C_{α} pada suhu 450°C. Perengkahan lignin dan *guaiacols* terjadi pada suhu 350 – 471°C, dan posisi ikatan C–C yang terputus sangat terkait dengan suhu. Selain itu, pemutusan ikatan C_{\square} – C_{\square} terjadi pada 350°C, diikuti oleh pemutusan ikatan C_{\square} – C_{\square} pada 400°C dibandingkan ikatan C_4 – C_{\square} pada 450°C. Pada akhirnya, pembelahan C–OCH₃ terjadi pada suhu 471°C. Senyawa yang teridentifikasi masuk dalam kategori senyawa oksidasi campuran (*mixed oxygenates*) yang umumnya dijumpai pada gasifikasi unggun aliran ke atas atau pirolisis pada suhu 400°C. (Morf *et al.* 2002; Milne *et al.* 1998; Paul *et al.* 1994)

Senyawa tar yang terkandung dalam gas hasil pirolisis ketiga sampel memiliki jumlah, jenis dan konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi senyawa pada sampel A sebesar 0,32 % v/v, terdiri dari *furan*, *guaiacol*, *syringol*, *4-ethylsyringol* dan *mixed oxygenates*. Untuk sampel B, jumlah konsentrasi senyawa 0,03 % v/v terdiri dari *acid* dan *guaiacol*. Sedangkan pada sampel C, senyawa tar yang terukur berupa *phenols*, *guaiacols*, *syringol*, dan *mixed oxygenates* dengan jumlah konsentrasi 0,05 % v/v.



Gambar 4. Diagram kromatogram gas hasil uji pirolisis sampel C

Ketiga sampel yang diuji menunjukkan tar utama (primer) dengan ciri khas berupa senyawa teroksidasi yang memberikan reaktivitas tinggi. Pengaruh senyawa alkali seperti kalium atau natrium akan menghambat pembentukan *levoglucosan*, yang merupakan produk dominan pirolisis primer dari selulosa murni, dan mendukung pembentukan senyawa karbonil seperti aseton (Milne dan Evan 1987a). Asam asetat adalah komponen tar primer lainnya yang ada dalam jumlah yang cukup besar. Guaiacols adalah produk khas dari pirolisis utama lignin. Egsgaard dan Laren (2001), menyebutkan bahwa guaiacol adalah prekursor penting dalam pembentukan aldehida aromatik.

Jika senyawa yang masih berupa oksidasi campuran tersebut disirkulasikan kembali pada reaktor, maka akan diperoleh beberapa senyawa aromatik hidrokarbon, hingga berbentuk senyawa-senyawa PAH (Li *et al.* 2009). Semakin besar jumlah ikatan rantai karbon pada senyawa

hidrokarbon, maka dibutuhkan energi yang lebih besar untuk dapat memutuskan rantai-rantai tersebut menjadi senyawa yang lebih sederhana.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan terhadap ketiga sampel tandan kosong sawit dapat disimpulkan berikut ini.

1. Analisis *proximate* dinyatakan dalam basa basah (wb), sedangkan analisis *ultimate* dalam basa kering (db). Komposisi TKS diperoleh yaitu $52,08 \pm 7,6$ % (C); $7,05 \pm 0,53$ % (H); $2,28 \pm 0,43$ % (N); $0,35 \pm 0,27$ % (S) dan $34,84 \pm 4,45$ % (O); sedangkan abu $6,06 \pm 2,02$ %, karbon tetap (FC) $17,73 \pm 1,33$ % dan bahan mudah menguap (VM) $87,62 \pm 3,39$ %.
2. Nilai HHV untuk tandan kosong sawit bervariasi tergantung pada kondisi bahan baku yang digunakan, sekitar 4.000 – 4.400 kkal atau 16,6 – 18,48 kJ per metrik ton. Namun, perlu diingat bahwa nilai HHV yang dihasilkan dari tandan kosong sawit bergantung pada kondisi bahan baku yang digunakan, seperti kadar air dan kadar abu.
3. Uji FT-IR pada tandan kosong sawit, diperoleh spektrum inframerah yang menunjukkan adanya gugus-gugus fungsional seperti hidrokarbon, gugus alkohol, gugus aldehyde, gugus asam, gugus hidroksi, gugus karboksilat, gugus keton, gugus klorida, gugus nitrat, gugus nitril, gugus amina, gugus fenol, gugus hidrogen sulfida, gugus sulfur dan gugus oksigen.
4. Senyawa yang dihasilkan dari pirolisis tandan kosong sawit pada suhu 400°C akan lebih banyak menghasilkan senyawa yang memiliki gugus hidrokarbon alifatik dan asiklik, serta kandungan metana lebih tinggi.

Saran

Dari hasil penelitian karakteristik tandan kosong sawit menggunakan metode FT-IR dan pirolisis-GCMS adalah sebagai berikut:

1. Implementasikan metode FT-IR dan Pirolisis-GCMS dalam proses evaluasi potensi tandan kosong sawit sebagai sumber bioenergi. Kombinasi kedua metode ini akan memberikan gambaran komposisi kimia yang lebih lengkap dan akurat dibandingkan hanya menggunakan satu metode saja.
2. Melanjutkan riset dengan menggunakan tandan kosong kelapa sawit yang berasal dari lokasi yang berbeda atau dari jenis tanaman yang berbeda untuk memperoleh data yang lebih komprehensif.

REFERENSI

- Abdulrazik A, Elsholkami M, Elkamel A, Simon L. 2017. Multi-products productions from Malaysian oil palm empty fruit bunch (EFB): Analyzing economic potentials from the optimal biomass supply chain. *Journal of Cleaner Production*. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.08.088.
- Basu P. 2010. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. New York (US): Academic Press
- Corley RHV and Tinker, PB. (2003) *The Oil Palm. 4th Edition*. Wiley, Hoboken
- El-Meligy MG, El-Zawawy WK, Ibrahim MM. 2004. Lignocellulosic composite. *Polymers for Advanced Technologies*. 15(12): 738–745. doi:10.1002/pat.536
- Joni, Tambunan AH, Setiawan RPA, Siregar K. 2019. Study on Characteristics of Oil Palm Empty Fruit Bunch to Predict Condensation Temperature of Tar from its Pyrolysis Gas. *International Journal of Oil Palm* 2(3):120-130.

- Li C dan Suzuki K. 2009. Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification—An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13(3): 594–604. doi:10.1016/j.rser.2008.01.009
- Milne TA, Evan RJ, Abatzoglu N. 1998. *Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation, and Conversion*. Colorado [US]: National Renewable Energi Laboratory.
- Morf P, Hasler P, Nussbaumer T. 2002. Mechanisms and kinetics of homogeneous secondary reaction of tar from continuous pyrolysis of woods chip. *Fuel*. 81(7): 843-853. doi:10.1016/s0016-2361(01)00216-2
- Paul T. Williams PT, Horne PA. 1994. Analysis of aromatic hydrocarbons in pyrolytic oil derived from biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 31: 15-37.
- Pavia DL, Lampman GM, Kriz GS, Vyvyan JR. 2013. *Introduction to Spectroscopy*. Stanford [US]: Cengage Learning. ISBN-13: 978-1-285-46012-3.
- Pua FL, Zakaria S, Chia CH, Fan SP, Potthast TRA, Liebne F. 2013. Solvolytic liquefaction of oil palm empty fruit bunch (EFB) fibres: Analysis of product fractions using FTIR and pyrolysis-GCMS. *Sains Malaysiana*. 42(6): 793–799.
- Telmo C dan Lousada J. 2011. The explained variation by lignin and extractive contents on higher heating value of wood. *Biomass Bioenergy*. 35: 1663-1667
- Zhang X, Rajagopalan K, Lei H, Ruan R, Sharma BK. 2017. An overview of a novel concept in biomass pyrolysis: microwave irradiation. *Sustainable Energy & Fuels*. 1(8): 1664–1699. doi:10.1039/c7se00254h
- Zhao X, Dai L, Liu D. 2009. Characterization and comparison of acetosolv and milox lignin isolated from crofton weed stem. *Journal of Applied Polymer Science*. 114(2): 1295–1302. doi:10.1002/app.30604