

# PEMBUATAN *BIO-OIL* DARI TANDAN KOSONG SAWIT DAN PELEPAH SAWIT DENGAN TEKNOLOGI PIROLISIS MENGGUNAKAN KATALIS Ni/NZA

Anwar Sumianto<sup>1</sup>, Syaiful Bahri<sup>2</sup>, Khairat<sup>3</sup>

Laboratorium Teknik Reaksi Kimia dan Katalisis

Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

sumiantoanwar@gmail.com

## Abstract

*Estimated consumption of petroleum will increase until 2015 reached 610 million barrel, while supply production of petroleum decrease until 280 million barrel at 2025 years.. Therefore, there was estimated that oil stock will run out about 24 years away. Consequently, it was necessary alternative fuels to replace petroleum oil, one of them was by converting biomass into bio-oil with pyrolysis technology and catalyst. The purposes of this research was to determine physical and chemical characteristics of bio-oil that produced from oil palm empty fruit bunches and palm fronds, determine the effect of impregnation Ni metal to the resulting yield, and then determine the effect of the amount of catalyst to bio-oil yield. Pyrolysis processes carried out 50 gram oil palm empty fruit bunches or palm fronds (-100 + 200 mesh), Ni/NZA with ratio of metal (0%, 1 %, 2% and 3% by weight percentage) and ratio of weight catalyst (3%, 5 % and 7 % by weight percentage) and 500 ml silinap at 320<sup>o</sup>C, stirred 300 rpm with nitrogen gas flow. The highest yield obtained on the ratio weight of catalyst used 7% and 3% ratio of Ni metal were amounted at 67,9% for oil palm empty fruit bunches and 56,2% for palm fronds. Characteristics of the production of bio-oil were 1,014 gr/ml density, 9,096 cSt viscosity, the acid number was 43,10 mg NaOH/gr sample and flash point at 51<sup>o</sup>C for empty fruit bunches, were 0,991 gr/ml density, 7,370 cSt viscosity, the acid number was 23,929 mg NaOH/gr sample and flash point at 54<sup>o</sup>C for palm fronds. From the GC-MS analysis, the dominant compounds from bio-oil were 2,4,4-trimethyl-2-pentene, 5,5-dimethyl 2-hexene, 3-(3,3-dimethylbutyl)-cyclohexanone and 1-ethyl-1-methyl cyclohexane.*

*Keywords : bio-oil, catalyst Ni/NZA, palm frond, palm empty fruit bunches, and pyrolysis*

## I. Pendahuluan

Kebutuhan minyak bumi akan mengalami peningkatan hingga pada tahun 2025 mencapai angka 610 juta barrel, sementara produksi minyak bumi realistis yang dapat dicapai semakin menurun hingga pada tahun 2025 mencapai angka 280 juta barrel. Maka dari itu, diperkirakan cadangan minyak bumi yang ada hanya akan bertahan sekitar 24 tahun lagi [Hasrul dan Unik, 2011]. Oleh karena itu diperlukan adanya bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil.

Salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui adalah *bio-oil*. Bahan baku untuk membuat *bio-oil* adalah biomassa. Indonesia mempunyai biomassa yang berlimpah, kira-kira 250 milyar ton/tahun yang dihasilkan dari biomassa hutan dan limbah pertanian [Detrina *et al.*, 2006]. *Bio-oil* merupakan cairan teroksidasi yang memiliki kerapatan tinggi digunakan sebagai pengganti bahan bakar. *Bio-oil* dapat terbakar dalam mesin diesel, turbin atau boiler, walaupun masih membutuhkan uji ketahanan jangka

panjang, dan dapat juga digunakan untuk produksi zat-zat kimia tertentu [Abdullah dan Gerhauser, 2008].

Dalam satu hari pengolahan bisa dihasilkan ratusan ton Tandan Kosong Sawit, jumlah tandan kosong mencapai 30-35% dari berat tandan buah segar. Tandan kosong sawit merupakan limbah organik yang berpotensi untuk dijadikan bioenergi pengganti bahan bakar kerdagangan selulosa dalam Tandan Kosong Sawit mencapai 54-60%, sedangkan kandungan Hemiselulosa mencapai 22 - 27% [Hambali, *et al.* 2007]. Sedangkan limbah pelepah sawit mencapai 10,14 juta ton per tahun yang sangat potensial untuk digunakan sebagai bahan baku utama selulosa [Padil, 2010].

Proses yang digunakan dalam memproduksi *bio-oil* adalah *pyrolysis*. *Pyrolysis* merupakan proses dimana partikel-partikel bahan organik atau biomassa diberikan pemanasan secara cepat pada suhu antara 450-600°C tanpa adanya kandungan oksigen dalam proses. Dari proses tersebut diperoleh uap organik, gas dan arang. Uap organik dikondensasikan menjadi *bio-oil* dengan hasil mencapai 68% berat dari umpan yang dimasukkan [Goyal *et al.*, 2006].

Untuk mempercepat terjadinya reaksi pada proses *pyrolysis*, maka diperlukan adanya katalis. Sebagai pengemban dipilih zeolit alam yang keberadaannya di Indonesia cukup melimpah. Namun, pemanfaatan zeolit alam tersebut di bidang industri belum optimal, sehingga perlu dilakukan upaya-upaya untuk meningkatkan nilai ekonomi dari bahan tersebut [Rosdiana, 2006]. Salah satu potensi dari zeolit alam ialah sebagai katalis [Trisunaryanti *et al.*, 2005]. Salah satu situs aktif katalitik adalah situs asam dari katalis yang terukur dari karakter keasaman katalis. Keasaman zeolit dapat ditingkatkan dengan cara pengembanan logam-logam transisi. Menurut Anugra [2010] pengembanan logam pada zeolit paling bagus menggunakan logam dari gol. VIII yang

telah diselidiki bahwa logam mulia mempunyai aktivitas yang tinggi dan stabil. Namun karena logam mulia harganya mahal dan ketersediaannya terbatas, maka penggunaan Nikel (Ni) sebagai logam pengemban merupakan pilihan yang bagus karena Ni banyak tersedia dan harganya murah jika dibandingkan dengan logam mulia. Disamping itu menurut Sunarno [2013] bahwa katalis Ni/NZA memiliki efektivitas katalis yang paling baik jika dibandingkan dengan katalis Mo/NZA dan NiMo/NZA.

Pada penelitian ini akan dilakukan pirolisis tandan kosong dan pelepah sawit menjadi *bio-oil* menggunakan katalis Ni/NZA. Kadar logam yang diemban yaitu 0, 1, 2 dan 3% terhadap NZA, sedangkan berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa 3%, 5% dan 7%. Pemilihan zeolit sebagai katalis dikarenakan struktur zeolit yang memiliki pori yang besar, stabilitas termal tinggi, luas permukaan lebih luas, dan aktivitas katalitik yang baik. Didukung lagi logam Ni yang diketahui mempunyai aktivitas hidrogenasi yang baik. Kombinasi antara logam Ni dengan zeolit dapat meningkatkan luas permukaan dan stabilitas termal yang tinggi [Darmawan dkk, 2003]. Dengan tujuan yang ingin dicapai yaitu, uji kinerja katalis Ni/NZA terhadap yield *bio-oil* yang dihasilkan melalui proses *pyrolysis* tandan kosong dan pelepah sawit menjadi *bio-oil* serta mengkarakterisasi sifat fisika dan kimia *bio-oil* yang dihasilkan.

## II. Metode Penelitian

### 2.1 Bahan yang Digunakan

Bahan yang diperlukan adalah batang ketapang, zeolit alam, HCl 6 N, NH<sub>4</sub>Cl 1 N, AgNO<sub>3</sub> aquades, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O (nikel nitrat), gas N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>, NaOH 0,1 N, asam oksalat 0,1 N, indikator PP dan *thermo-oil* berupa silinap 280 M.

### 2.2 Alat yang digunakan

Sedangkan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpang

porselein, crusher, pengayak -100+200 mesh, reaktor alas datar, satu set motor pengaduk, oven, heating mantel, timbangan analitik, kertas saring, tabung dan regulator gas ( $N_2$ ,  $O_2$  dan  $H_2$ ), reaktor pirolisis, kondensor, *thermocouple thermometer* (Barnant), piknometer, *viskometer Ostwald*, gelas piala, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur, labu ukur, *cleveland flash point tester*, dan seperangkat alat Kromatografi Gas-Spektrometer Massa (GC-MS).

### 2.3 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini biomassa yang digunakan sebanyak 50 gram, ukuran ayakan biomassa dan zeolit -100+200 mesh, temperatur pirolisis  $320^\circ C$ , waktu pirolisis 120 menit, kecepatan pengadukan 300 rpm, silinap 280 M sebanyak 500 ml. Rasio berat logam Ni terhadap katalis NZA adalah 0%; 1%; 2% dan 3% sedangkan rasio berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa 3%, 5% dan 7%.

### 2.4 Prosedur Penelitian

#### 2.4.1 Pembuatan Katalis Ni/NZA

Tahap pertama zeolit alam digerus dalam lumpang porselein untuk memperkecil ukuran partikel. Kemudian diayak dengan ukuran -100+200 mesh dengan ketentuan zeolit alam yang diambil merupakan zeolit alam yang lolos pada pengayak 100 mesh dan tertahan pada ayakan 200 mesh.

Selanjutnya dilakukan proses dealuminasi zeolit alam dengan perlakuan HCl 6 N dan  $NH_4Cl$  1 N. Setyawan dan Handoko [2002] dalam Bahri *et al* [2010] menyebutkan bahwa proses dealuminasi optimal terjadi pada konsentrasi HCl 6 N. Bahri *et al* [2010]. Zeolit alam sebanyak 200 gram direfluks dalam larutan HCl 6 N sebanyak 1000 ml selama 30 menit pada suhu  $50^\circ C$  sambil diaduk dengan motor pengaduk pada reaktor alas datar bervolume 2000 ml, kemudian disaring dan dicuci berulang kali sampai tidak ada ion  $Cl^-$  yang terdeteksi oleh larutan  $AgNO_3$ , setelah itu cake dikeringkan pada suhu  $110^\circ C$  selama 3 jam dalam oven. Sampel tersebut kemudian direndam

kembali dalam 1000 ml larutan  $NH_4Cl$  1 N pada temperatur  $90^\circ C$  sambil diaduk pada reaktor alas datar bervolume 2000 ml selama 3 jam sehari yang dilakukan sampai satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci setelah itu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu  $110^\circ C$ . Pada tahap ini didapat sampel yang dinamai dengan sampel NZA.

Tahap berikutnya dilakukan impregnasi logam Ni sebesar 0%; 1%; 1,5% dan 2% dari berat NZA. Proses dimulai dengan melarutkan sampel NZA ke dalam 100 ml  $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  dan direfluks pada suhu  $90^\circ C$  selama 6 jam sambil diaduk pada reaktor alas datar ukuran 1000 ml. Setelah waktu tercapai, kemudian larutan di uapkan pada suhu  $110^\circ C$  untuk menghilangkan air. Pada tahap ini didapat katalis Ni/NZA sesuai dengan rasio berat logam.

Selanjutnya, katalis Ni/NZA diaktivasi dengan melakukan proses-proses kalsinasi, oksidasi, dan reduksi. Proses ini diawali dengan memasukkan sampel katalis ke dalam *tube* sebanyak 40 gram. Sebelumnya ke dalam *tube* telah diisi dengan *porcelain bed* sebagai *heat carrier* dan penyeimbang unggun katalis, diantara *porcelain bed* dengan unggun katalis diselipkan *glass wool*. *Tube* ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu  $500^\circ C$  selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar  $\pm 400$  ml/menit, hal ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Bahri *et al* (2010), bahwa kristalinitas dan pembentukan fasa aktif tertinggi pada katalis Ni/NZA didapatkan pada waktu kalsinasi 6 jam. Selanjutnya, katalis dioksidasi pada suhu  $400^\circ C$  menggunakan gas oksigen sebesar  $\pm 400$  ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu  $400^\circ C$  menggunakan gas hidrogen sebesar  $\pm 400$  ml/menit selama 2 jam.

#### 2.4.2 Persiapan Biomassa Tandan Kosong Sawit dan Pelepah Sawit

Pada tahap ini, biomassa berupa tandan kosong dan pelepah sawit dipotong kecil-kecil lalu dijemur sampai kering di

bawah terik matahari, kemudian dihaluskan menggunakan crusher untuk selanjutnya dikeringkan kembali di bawah terik matahari. Biomassa tersebut kemudian diayak untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan -100+200 mesh.

### 2.4.3 Sintesis Bio-oil

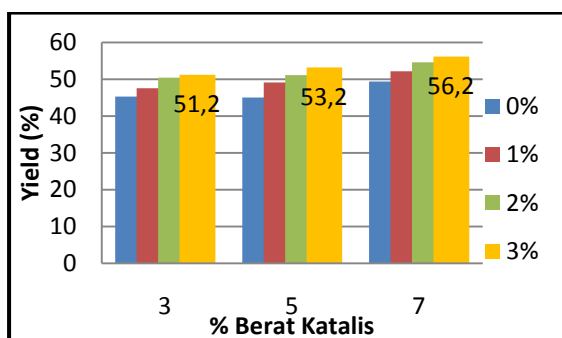
Biomassa (tandan kosong sawit atau pelepah sawit) yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml silinap dan katalis Ni/NZA dengan rasio (3%, 5% dan 7% berat) dimasukkan kedalam reaktor pirolisis. Rasio logam Ni yang diimbangkan pada katalis NZA adalah 0%; 1%; 2% dan 3%. Pirolisis dilakukan pada suhu 330°C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen dengan laju alir 80 ml/menit. Diaduk dengan pengaduk listrik pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Kemudian terbentuk gas, gas yang terbentuk ini akan di kondensasi menggunakan kondensor sehingga dihasilkan bio-oil, selanjutnya produk bio-oil tersebut ditampung dalam gelas ukur.

### 2.4.4 Karakterisasi Bio-oil

Hasil *bio-oil* optimum yang didapat kemudian dikarakterisasi berdasarkan sifat fisiknya (densitas, viskositas, angka keasaman dan titik nyala) dan dianalisa secara kualitatif dengan menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS).

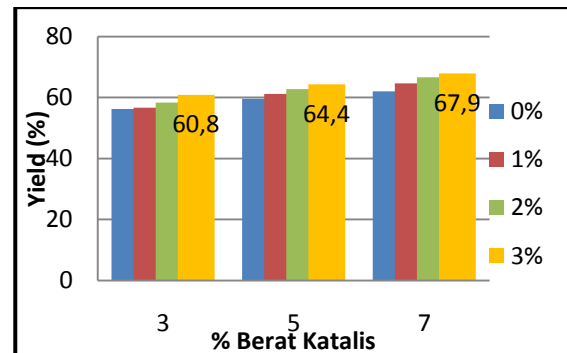
## III. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengaruh Rasio berat katalis Ni/NZA dan Biomassa Terhadap Yield Bio-oil



**Gambar 3.1** Pengaruh Rasio Berat Katalis Ni/NZA Terhadap Yield Bio-oil Pelepah Sawit.

Pada gambar 3.1 dilihat bahwa rasio berat katalis Ni/NZA mempengaruhi *yield bio-oil* yang diperoleh dari pirolisis pelepah sawit. Untuk *yield bio-oil* optimum terletak pada kadar logam Ni 3% untuk rasio berat katalis Ni/NZA 3% (51,2%), 5% (53,2%) dan 7%(56,2%).



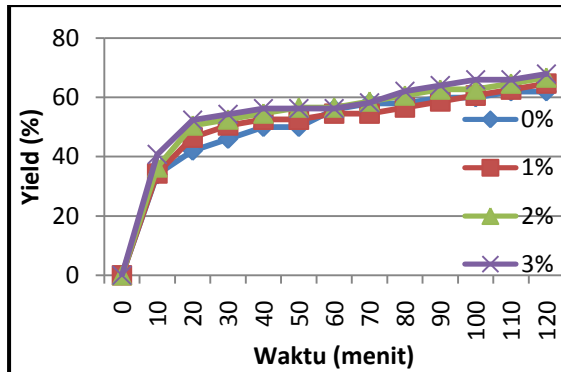
**Gambar 3.2** Pengaruh Rasio Berat Katalis Ni/NZA Terhadap Yield Bio-oil Tandan Kosong Sawit

Pada gambar 3.2 dilihat bahwa rasio berat katalis Ni/NZA mempengaruhi *yield bio-oil* yang diperoleh dari pirolisis tandan kosong sawit. Untuk *yield bio-oil* optimum terletak pada kadar logam Ni 3% untuk rasio berat katalis Ni/NZA 3% (60,8%), 5% (64,4%) dan 7%(67,9%).

Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka semakin besar jumlah permukaan aktifnya, tempat berlangsungnya reaksi pirolisis. Sehingga produk yang dihasilkan juga semakin besar. Penggunaan katalis juga dapat menurunkan energi aktivasi pada proses pirolisis, sehingga dengan energi aktivasi yang semakin rendah akan menyebabkan nilai konstanta laju reaksi semakin besar. Persamaan Arrhenius menyatakan bahwa energi aktivasi reaksi berbanding terbalik terhadap nilai konstanta laju reaksi, dan nilai konstanta laju reaksi berbanding lurus dengan kecepatan suatu reaksi (Reklaitis, 1993). Semakin besar kecepatan reaksi yang terjadi akan menyebabkan

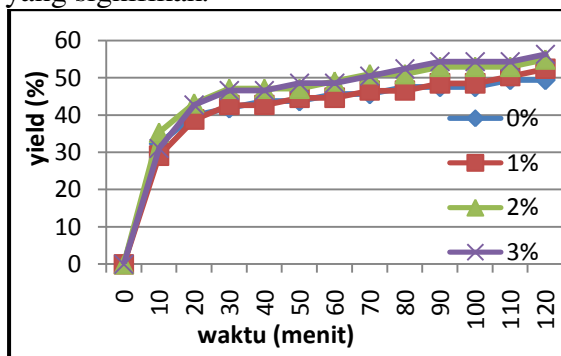
pembentukan produk yang semakin besar pula.

### 3.1 Pengaruh Rasio Kadar Logam Nikel (Ni) pada Katalis Ni/NZA Terhadap Yield Bio-oil yang dihasilkan.



**Gambar 3.3** Pengaruh rasio Kadar Logam Nikel (Ni) Terhadap Yield Bio-oil pada Rasio berat Katalis Ni/NZA 7% Terhadap Biomassa Tandan Kosong Sawit.

Dari Gambar 3.3 terlihat bahwa *yield bio-oil* pada penggunaan katalis Ni/NZA dengan rasio kadar logam 0%; 1%; 2% dan 3% dengan rasio berat katalis Ni/NZA 7% terhadap Tandan Kosong Sawit berturut-turut adalah 62,0%; 64,6%; 66,7% dan 67,9%. *Yield bio-oil* pada penggunaan katalis Ni/NZA dengan rasio kadar logam 0%; 1%; 2% dan 3% menunjukkan kenaikan yang signifikan yaitu sebesar 65,36%. Secara keseluruhan perolehan *yield bio-oil* sampai pada menit ke 20 dari penggunaan rasio kadar logam relatif sama, namun pada menit ke 70 penggunaan katalis Ni/NZA dengan rasio kadar logam 3% mengalami peningkatan yang signifikan.



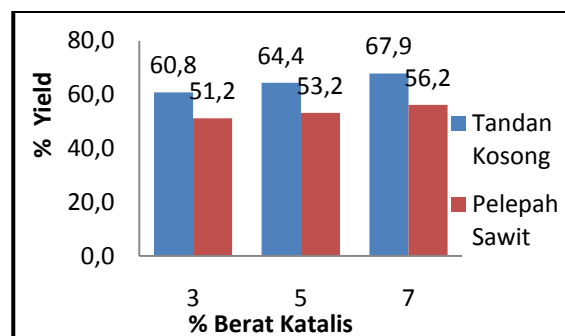
**Gambar 3.4** Pengaruh rasio Kadar Logam Nikel (Ni) Terhadap Yield Bio-oil pada

Rasio berat Katalis Ni/NZA 7% Terhadap Biomassa Pelepah Sawit.

Dari Gambar 3.4 terlihat bahwa *yield bio-oil* pada penggunaan katalis Ni/NZA dengan rasio kadar logam 0%; 1%; 2% dan 3% dengan rasio berat katalis Ni/NZA 7% terhadap Tandan Kosong Sawit berturut-turut adalah 62,0%; 64,6%; 66,7% dan 67,9%. *Yield bio-oil* pada penggunaan rasio berat katalis Ni/NZA dengan rasio kadar logam 0%; 1%; 2% dan 3% menunjukkan kenaikan yang signifikan yaitu sebesar 65,36%. Secara keseluruhan perolehan *yield bio-oil* sampai pada menit ke 20 dari penggunaan rasio kadar logam relatif sama, namun pada menit ke 80 penggunaan katalis Ni/NZA dengan rasio kadar logam 3% mengalami peningkatan yang signifikan.

Berdasarkan Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 dapat di simpulkan bahwa semakin banyak rasio kadar logam yang di impregnasikan ke dalam katalis NZA maka *yield bio-oil* yang dihasilkan akan semakin besar pula. Anugra [2010] menyatakan bahwa semakin banyak rasio kadar logam Nikel (Ni) yang di impregnasikan, maka perolehan *yield bio-oil* yang di dapat akan semakin banyak pula. Hal ini di sebabkan karena semakin banyak rasio kadar logam yang terdapat pada permukaan katalis NZA maka akan meningkatkan luas permukaan katalis tersebut.

### 3.3 Pengaruh Rasio Biomassa Tandan Kosong Sawit dan Pelepah Sawit Terhadap Yield Bio-oil.



**Gambar 3.5** Perbandingan Yield Bio-Oil terhadap rasio biomassa (tandan kosong dan pelepah sawit) pada setiap



penambahan katalis dengan rasio kadar logam 3%.

Dari Gambar 3.5 terlihat bahwa *yield bio-oil* hasil pirolisis tandan kosong sawit dengan rasio kadar logam 3% untuk rasio berat katalis (3%, 5%, 7%) lebih banyak dihasilkan (60,8%, 64,4%, 67,9%) dibandingkan *yield bio-oil* hasil pirolisis pelepah sawit dengan rasio kadar logam 3% untuk rasio berat katalis(3%, 5%, 7%) hanya menghasilkan (51,1%, 53,2%, 56,2%), hal ini dikarenakan karena kandungan selulosa pada tandan kosong sawit (59,7%) lebih besar dibandingkan pelepah sawit (34,89%) [ningrum, 2011].

### 3.4 Karakterisasi *Bio-oil*

#### 3.4.1 Analisa Fisika *Bio-oil*

*Bio-oil* yang berasal dari tandan kosong sawit dan pelepah sawit selanjutnya di karakterisasi sifat fisiknya. Karakterisasi sifat fisika yang dilakukan meliputi penentuan massa jenis, viskositas, titik nyala, angka keasaman. Sementara *bio-oil* dengan *yield* terbesar dianalisa sifat kimianya dengan Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (GC-MS) untuk mengetahui komponen-komponen kimia yang terbentuk didalam *bio-oil*. Data Hasil perbandingan karakterisasi sifat fisika *bio-oil* tandan kosong sawit dan pelepah sawit dengan *bio-oil standard* terlihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Perbandingan Karakteristik Fisika *Bio-oil* tandan kosong dan pelepah sawit dengan *Bio-oil Standard*

Parameter	<i>Bio-oil</i>		<i>Bio-oil</i>
	Tandan Kosong	Pelepah	
Densitas (gram/ml)	0,956-1,014	0,939-0,991	0,94 - 1,21*
Viskositas (cSt)	6,206-9,189	6,633-7,370	15 – 35**
Titik Nyala (°C)	39-51	47-54	45 – 100*
Angka Keasaman (mg NaOH/gram sampel)	9,65-43,10	14,993-23,929	35,1 – 50*

Keterangan : \* : Mohan [2006]  
\*\* : Lehto et al [2013]

Densitas yang tinggi mengakibatkan *bio-oil* memiliki berat yang lebih besar dibandingkan *fuel oil* dengan volume yang sama. Hal ini dapat menyebabkan bertambahnya biaya transportasi pada untuk pendistribusinya. Selain itu, hal ini juga menimbulkan resiko terhadap terjadinya kebocoran pada pipa serta bertambahnya biaya perpompaaan karena *pressure drop* yang tinggi [Mohan et al., 2006]. Mohan et al [2006] juga menjelaskan bahwa densitas *bio-oil* berada pada *range* 0,94 – 1,21 gram/ml. Namun pada penelitian ini rata-rata densitas yang dihasilkan dengan menggunakan variasi katalis Ni/NZA baik dalam variasi berat katalis ataupun kadar logam berada di bawah standar *bio-oil* yaitu (0,956-1,014 gram/ml) untuk *bio-oil* tandan kosong sawit dan (0,939-0,991 gram/ml) untuk pelepah sawit. Namun demikian, Negri [2013] mengungkapkan bahwa semakin kecil densitas *bio-oil* maka akan semakin baik digunakan sebagai bahan bakar karena semakin ringan. Viskositas yang tinggi menyebabkan *bio-oil* sulit untuk mengalir dengan baik dan menyebabkan *pressure drop* yang relatif tinggi pada proses perpipaan saat pendistribusian [Mohan et al., 2006]. Hal ini tentunya akan menyebabkan biaya yang lebih besar untuk instalasi perpipaan guna pendistribusian *bio-oil*. Viskositas *bio-oil* biasanya berada pada *range* 15-35 cSt [Smallwood, 2008]. Viskositas yang di peroleh secara umum lebih rendah dibandingkan dengan standar yang dikemukakan oleh Smallwood. Dimana viskositas dari *bio-oil* tandan kosong sawit (6,206-9,189 cSt) dan *bio-oil* pelepah sawit (6,633-7,370 cSt). Hal ini menandakan bahwa *bio-oil* dari pelepah sawit lebih mudah untuk mengalir dalam proses pendistribusiannya. Titik nyala dari *bio-oil* yang dihasilkan daritandan kosong sawit berada pada *range* 39-51 °C, sedangkan titik nyala dari *bio-oil* yang dihasilkan daripelepah sawit berada pada *range* 47-54°C. Dengan titik nyala yang relatif rendah tersebut maka *bio-oil* akan semakin mudah untuk terbakar dan

penyimpanannya harus sangat diperhatikan. Mohan *et al* [2006] menjelaskan bahwa titik nyala *bio-oil* yang terlalu rendah akan mempersulit dalam penanganan dan biasanya titik nyala *bio-oil* pada umumnya adalah 45-100 °C.

Kandungan asam yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bio-oil* bersifat korosif terhadap bahan-bahan yang digunakan untuk penyimpanan atau pun pendistribusiannya, terutama bahan yang berasal dari *carbon steel*. Oleh karena itu makin rendah angka keasaman *bio-oil*

maka menandakan kandungan senyawa asam di dalam *bio-oil* itu semakin rendah pula, angka keasaman yang semakin rendah menandakan kualitas *bio-oil* semakin baik. Mohan [2006] menjelaskan bahwa angka keasaman *bio-oil* biasanya sekitar 47,7 mg NaOH/gram sampel. Rendahnya nilai angka asam *bio oil* dari tandan kosong sawit dan pelepah sawit mengindikasikan bahwa kandungan senyawa asam tidak terlalu besar bahkan hampir tidak ada pada beberapa sampel.

**Tabel 3.2**

Perbandingan Sifat Fisika *Bio-oil* dari Beberapa Peneliti Terdahulu

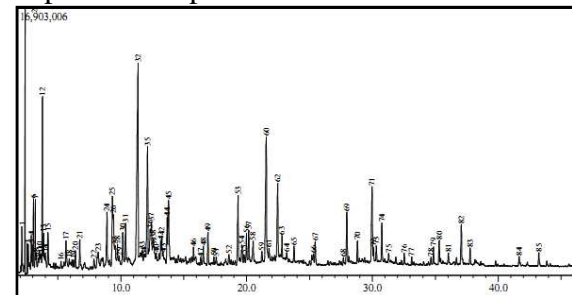
Parameter	Penelitian ini Sumianto (2016)		Khor 2009	Putra 2009	Samosir 2014
	Tandan Kosong	Pelepah Sawit			
Biomassa	Tandan Kosong	Pelepah Sawit	Tandan Kosong	Tandan Kosong	Pelepah Sawit
Katalis	Ni/NZA	Ni/NZA		Ni/ZSM-5	NiMo/lempung
Densitas (gr/ml)	1,014	0,991	1,031	1,182	0,946
Viskositas Kinematik (cSt)	9,096	7,370	13,52	14,78	7,591
Titik Nyala (°C)	51	54	65	49	45,91
Angka asam (mg NaOH /gr sampel)	23,929	43,10	102,9		74,078
Yield (%)	67,9	56,2		70,2	58,57

Dari Tabel 3.2 terlihat bahwa karakteristik sifat fisika *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan peneliti-peneliti terdahulu dan *bio-oil standard*. Dengan demikian maka *bio-oil* yang dihasilkan dari pirolisis tandan kosong dan pelepah sawit sangat potensial dikembangkan sebagai sumber bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar yang berasal dari sumber daya fosil.

### 3.4.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

Analisa kimia *bio-oil* pada penelitian ini menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). *Bio-oil* yang di analisa adalah variasi dengan *yield bio-oil* tertinggi adalah penggunaan rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3%, baik untuk biomassa tandan kosong

sawit maupun pelepah sawit. Untuk itu dilakukan analisa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung pada *bio-oil*. Hasil analisa kimia terhadap *bio-oil* tandan kosong sawit menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) pada penggunaan rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3% dapat di lihat pada Gambar 3.6.



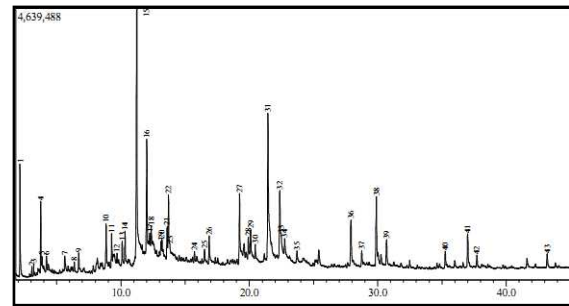
**Gambar 3.6** Kromatogram *Bio-oil* tandan kosong sawit menggunakan rasio berat Katalis Ni/NZA 7% dan rasio Kadar Logam 3%.

Terlihat pada Gambar 3.6 bahwa penggunaan rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3% mendekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin pada tandan kosong sawit menjadi 85 senyawa kimia. Dimana senyawa 5 kimia yang dominan pada *bio-oil* ini adalah 3,4,4-trimethyl 2 –pentene dengan luas area sebesar 11,49%, 4-methyl 1-bromo cyclohexane dengan luas area 6,71%, 5,5-dimethyl 2-hexane dengan luas area 4,99%, 2,2,4,4-tetramethyl pentane dengan luas area 4,19% dan 3-(3,3-dimethylbutyl) cyclohexanone dengan luas area 3,33%. Senyawa dominan yang terkandung pada *bio-oil* tandan kosong sawit dengan penggunaan rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasioi kadar logam 3% terlihat pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3** Senyawa dominan di dalam *Bio-oil* tandan kosong sawit Penggunaan rasio berat Katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3%.

Puncak	Waktu Retensi	Area (%)	Nama Senyawa
12	3,763	4,17	2,2,4,4-tetramethyl pentane
32	11,365	11,49	3,4,4-trimethyl 2-pentene
35	12,122	4,99	5,5-dimethyl 2-hexene
60	21,556	6,71	1-bromo-4-methyl cyclohexane
71	29,972	3,33	3-(3,3-dimethylbutyl) cyclohexanone

Hasil kromatogram *bio-oil* pelepah sawit yang dihasilkan pada penggunaan rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3% dapat di lihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Kromatogram *Bio-oil* pelepah sawit menggunakan rasio berat Katalis Ni/NZA 7% dan rasio Kadar Logam 3%.

Terlihat pada Gambar 3.7, Dimana senyawa 5 kimia yang dominan pada *bio-oil* ini adalah 3,4,4-trimethyl 2 –pentene dengan luas area sebesar 11,49%, 4-methyl 1-bromo cyclohexane dengan luas area 6,71%, 5,5-dimethyl 2-hexane dengan luas area 4,99%, 2,2,4,4-tetramethyl pentane dengan luas area 4,19% dan 3-(3,3-dimethylbutyl) cyclohexanone dengan luas area 3,33%. Senyawa dominan yang terkandung pada *bio-oil* tandan kosong sawit dengan penggunaan rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3% terlihat pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4** Senyawa dominan di dalam *Bio-oil* pelepah sawit Penggunaan rasio berat Katalis Ni/NZA 7% dan rasio Kadar Logam 3%.

Puncak	Waktu Retensi	Area (%)	Nama Senyawa
12	3,763	4,17	2,2,4,4-tetramethyl pentane
32	11,365	11,49	3,4,4-trimethyl 2-pentene
35	12,122	4,99	5,5-dimethyl 2-hexene
60	21,556	6,71	1-bromo-4-methyl cyclohexane
71	29,972	3,33	3-(3,3-dimethylbutyl) cyclohexanone



Dari Tabel 3.3 sampai Tabel 3.4 dapat dilihat bahwa adanya golongan-golongan hidrokarbon jenis parafin (alkana), olefin (alkena), dan naftena merupakan senyawa dominan yang terdapat pada *bio-oil* dari Tandan Kosong dan Pelepah Sawit. Dimana, golongan-golongan tersebut merupakan golongan utama penyusun minyak bumi (Putra, 2010).

BTG [2003] mengungkapkan bahwa *bio-oil* dengan kandungan fenol lebih dari 50% maka akan sangat baik jika digunakan sebagai bahan bakar. Pada penelitian ini, secara keseluruhan senyawa fenol ditemukan 2,20%-3,97% pada *bio-oil* dari Tandan Kosong Sawit sedangkan pada *bio-oil* dari pelepah sawit mengandung fenol 1,94%. Sedangkan, komponen senyawa yang tidak muncul pada *bio-oil* hasil pirolisis dari tandan kosong dan pelepah sawit adalah kelompok furfural, furan, levoglukosan serta turunan gula lainnya. Mohan *et al* (2006) menyatakan bahwa karakterisasi komponen kimia secara sempurna pada *bio-oil* sangat sulit karena *bio-oil* mengandung komponen senyawa dengan berat molekul yang besar, yang merupakan degradasi dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Hanya sebagian dari *bio-oil* yang dapat terdeteksi menggunakan alat GC. Untuk itu diperlukan *upgrading* terhadap *bio-oil* yang dihasilkan agar dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

## VI. Kesimpulan dan Saran

### 4.1 Kesimpulan

Biomassa tandan kosong sawit dan pelepah sawit sangat potensial dijadikan sebagai sumber energi terbarukan berupa *bio oil* melalui teknologi pirolisis dengan menggunakan katalis Ni/NZA.

*Yield bio-oil* yang dihasilkan berbanding lurus dengan rasio berat katalis Ni/NZA dan rasio kadar logam yang ditambahkan, dimana *yield* yang didapat hasil pirolisis tandan kosong sawit yang tertinggi adalah pada rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3%

yaitu 67,9% sedangkan yang terendah adalah pada rasio berat katalis Ni/NZA 3% dan rasio kadar logam 0% yaitu 60,8%, untuk *yield* yang didapat hasil pirolisis pelepah sawit yang tertinggi adalah pada rasio berat katalis Ni/NZA 7% dan rasio kadar logam 3% yaitu 56,2% sedangkan yang terendah adalah pada rasio berat katalis Ni/NZA 3% dan rasio kadar logam 0% yaitu 51,2%. *Bio oil* yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki karakteristik fisika sebagai berikut: densitas 1,014 gram/ml, viskositas 9,096 cSt, angka asam 23,929 mg NaOH/gram sampel dan titik nyala 51°C untuk tandan kosong sawit, sedangkan untuk pelepah sawit memiliki densitas 0,991 gram/ml, viskositas 7,370 cSt, angka asam 43,10 mg NaOH/gram sampel dan titik nyala 54°C.

*Bio oil* yang dihasilkan mengandung senyawa yang sering muncul diantaranya, 2,4,4-trimethyl-2-pentene, 5,5-dimethyl 2-hexene, 3-(3,3-dimethylbutyl)cyclohexanone dan 1-ethyl-1-methyl cyclohexane.

### 4.2 Saran

Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut untuk proses *upgrading* terhadap kandungan kimia untuk meningkatkan kandungan yang sesuai standar, *upgrading* terhadap *yield bio-oil* untuk bisa ditingkatkan lagi, *upgrading* untuk analisa nilai kalor dari *bio-oil* yang dihasilkan.

## Daftar Pustaka

- Abdullah, N., dan Gerhauser, H. 2008. *Bio-oil derived from empty fruit bunches*. Fuel 87 (2008) 2606-2613.
- Anugra, R.D. 2010. *Efek Kandungan Logam Ni/Nza Pada Proses Pencairan Langsung Biomassa Menjadi Bio-oil*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Riau.
- Bahri, S., Yuri, S.I., Panca, S.U. dan Muhdarina. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Katalis Bimetal Ni-Mo-zeolit untuk Proses Pencairan*

- Langsung Biomasa menjadi Bio-oil*. Makalah Ilmiah. Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru, 29-30 Juni.
- Biomass Technology Group. 2003. *Bio-oil Applications*. <http://www.btgword.com>. Diakses pada 24 September 2015.
- Darmawan, A., Arifin, T.P., Agus, S., Tri, N.K. dan Cecilya, M. 2012. *Kajian Supply Demand Energy*. Jakarta; Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Detrina, I., Yusnitawati, Syaiful, B. Dan Edy, S. 2006. *Kajian Bio-oil Dari Limbah Padat Sawit Dengan Metoda Fast Pyrolysis*. Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia.
- Goyal, H.B., Diptendu, S. Dan Saxena, R.C. 2006. *Bio-Fuels from Thermochemical Conversion Of Renewable Resources: A Review*. India Institute of petroleum. India.
- Hambali, E., S. Mujdalipah, A.H. Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Agromedia. Jakarta.
- Hasrul dan Unik, 2011, *Solusi Baru Sinergi Energi Fosil dan Energi Terbarukan*, Indopetro Magazine. Riau Internasional Energy Expo 2011 (RIEX 2011).
- Lehto, J., Oasma, A., Solantausta, Y., Kyto, M. dan Chiaramonti, D. 2013. *Fuel Oil Quality and combustion of Fast Pyrolysis Bio-Oils*. Finlandia: VTT Technical Research Centre of Finland.
- Mohan, D., Charles, U.P. dan Philip, H.S. 2006. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. Jurnal Energy and Fuels 20: 848-889.
- Ningrum, A.O. 2011. *Proses Pembuatan Bio-Oil dari Limbah Kelapa Sawit ( Tandan, Cangkang, dan Serat ) untuk Bahan Bakar Aternatif Dengan Metode Fast Pyrolysis*. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Padil, 2010, *Proses Pembuatan Nitroselulosa Berbahan Baku Biomassa Sawit*, Seminar Nasional Fakultas Teknik UR, ISBN 978-602-96729-0-9, TK 20.
- Rosdiana, T. 2006. *Pencirian dan Uji Aktivitas Katalitik Zeolit Alam Teraktivasi*. Skripsi Departemen Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. IPB. Bogor.
- Putra, B. 2009. *Pirolisis Tandan Kosong Sawit dengan Katalis ZSM-5 menjadi Bio-oil*. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Reklaitis, G.V., 1993. *Introduction to Material and Energy Balance*. Jhon Wiley and Sons. West Lavayette, 112-134.
- Setyawan, D. Dan Handoko, P. 2002. *Preparasi Katalis Cr/Zeolit Melalui Modifikasi Zeolit Alam*. Jurnal Ilmu Dasar. Vol. 3 No.1 hal :15-23.
- Smallwod, 2008. *Hydroprocessing of Pyrolysis Bio-oil to Fuel and Chemical*. Pacific Northwest National Laboratory U.S.. Departemant of Energy.
- Sunarno dan Silvia, R.Y. 2013. *Pembuatan Zeolit Sintetis dan Aplikasinya Sebagai Katalis pada Cracking Cangkang Sawit Menjadi Bio-oil*. Jurnal Teknobiologi. IV(1) 2013: 35 – 39: ISSN : 2087 – 5428.
- Trisunaryanti, W., Endang, T. dan Sri, S. 2005. *Preparasi, Modifikasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam*. Jurnal TEKNO IN 10(4): 269-282.