

Rancang Bangun Unit Pirolisis untuk Pembuatan *Bio-Oil* Dari Minyak Jelantah Skala Laboratorium

Oleh: **Edi Gunawan**

Perekayasa Madya pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I tanggal 25 Januari 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 18 Maret 2010

Disetujui terbit tanggal: 30 April 2010.

S A R I

Telah dilakukan rancang bangun unit pirolisis skala laboratorium, yang terdiri atas tangki umpan, reaktor, umpan N_2 , separator dan tangki penampung secara operasional mampu untuk membuat bio-oil dari minyak jelantah. Reaktor dirancang dan dibuat dengan diameter 3 in. dan panjang 40 cm, bagian dalamnya diisi dengan bahan isian kuarsa, dilengkapi dengan pemanas, tanpa adanya oksigen (karena N_2 sebagai blanketing) bisa menjalankan proses perengkahan termal terhadap minyak jelantah. Kondisi terbaik yang dicapai untuk memperoleh bio-oil yaitu pada suhu pirolisis 400°C , ketebalan bahan isian kuarsa 15 cm, dan ukuran partikel kuarsa -6+8 mesh.

Bio-oil adalah bahan bakar cair yang dihasilkan melalui teknologi pirolisis atau pirolisis cepat. Pengembangan bio-oil dapat menggantikan posisi bahan bakar hidrokarbon dalam industri, seperti untuk mesin pembakaran, boiler, mesin diesel statis, dan *heavy fuel oil*, *light fuel oil*.

Hasil percobaan ini menghasilkan bio-oil dengan mutu sebagai berikut :

- viskositas kinematis pada 50°C .	= 34 cSt.
- titik nyala (mangkok tertutup)	= 112°C
- kadar air % volume	= 0
- masa jenis pada 50°C , kg/m ³	= 907
- angka asam mg KOH/g	= 0,02
- kadar belerang % berat	= 0,004

Kata kunci: Jelantah, Pyrolysis, Bio-oil

ABSTRACT

Design and engineering was made on a laboratory scale pyrolysis unit, that consists of feed tank, reactor, N_2 feed, separator, and tank for liquids that is capable to make bio-oil from refused frying oil that has been used for frying. The diameter of the reactor is 3 in. and the length is 40 cm. The inside of the reactor is filled by quartz material, and there is no oxygen inside (because N_2 as blanket). The reactor can run the process of thermal cracking on the used frying oil. The best condition that can be reached for producing bio-oil was the pyrolysis of temperature 400°C , the thickness of quartz material 15 cm, and the quartz particle size of -6+8 mesh.

Bio-oil is the liquid fuel that is produced by pyrolysis technology or quicky pyrolysis. The development of bio-oil can replace the position of the hidrocarbon fuel in industry such as is combustion engine, boiler, static diesel engine, and heavy fuel oil, light fuel oil.

The result of this research produces bio-oil with the quality as follow :

- Kinematic viscosity at 50°C	= 34 cSt.
- Flash point (closed bowl)	= 122°C
- Water content % volume	= 0
- Specific mass at 50°C, kg/m ³	= 907
- Acid content at mg KOH/g	= 0,02
- Hydrochloric acid content % weight	= 0,004

Key words : Oil that has been used for frying, Pyrolysis, Bio-oil

I. PENDAHULUAN

Harga minyak mentah dunia yang tidak menentu, saat ini sekitar 70 dollar AS per barrel. Hal ini membuat negara-negara pengimpor minyak masih tetap konsisten mencari sumber energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar minyak fosil yang lambat laun cadangannya akan menipis. Pilihannya jatuh pada bahan bakar nabati yang dianggap dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan karena dapat diperbaharui dalam jangka pendek. Bahan bakar jenis ini juga dicatat lebih ramah lingkungan karena efek rumah kaca yang dihasilkan dari penggunaannya lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar minyak fosil.

Menurut *road map Biooil* Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral untuk tahun 2005-2025, penggunaan Bio Oil untuk keperluan panas mengalami kenaikan konsumsi rata-rata sebesar 2% untuk setiap 5 tahun kedepan. Dalam pemanfaatan biofuel pengelompokan *bio-oil* terdiri atas dua bahan bakar yaitu biokerosin sebagai pengganti minyak tanah, dan minyak bakar sebagai pengganti HSD (High Solar Diesel). Keduanya menggunakan bahan baku minyak nabati dengan teknologi pirolisis.

Rancang Bangun Unit Peralatan Pirolisis, bertujuan untuk membuat satu unit peralatan pirolisis, sehingga dengan proses dekomposisi termal diharapkan dapat dimanfaatkan untuk proses pembuatan *bio-oil* dari minyak jelantah dalam skala laboratorium.

II. BAHAN BAKU

A. Minyak Goreng Bekas (jelantah)

Jelantah adalah bahan minyak goreng bekas yang terbuang dan sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh apabila digunakan kembali sebagai minyak goreng karena sifatnya yang karsinogen. Senyawa Trans Fat akan muncul jika minyak goreng dipanasi berulang kali atau memanasi minyak dalam waktu yg sangat lama. TransFat ini akan :

1. Memasuki sel-sel tubuh dan akan merusak membran sel dan fungsi sel.
2. Merusak vitamin dan nutrisi yang lain
3. Menurunkan kolesterol baik
4. Meningkatkan kolesterol jelek
5. Dapat menimbulkan kanker dan gangguan jantung
6. Dapat menyebabkan alergi.

Kebutuhan CPO sebagai bahan baku industri minyak goreng dalam negeri sekitar 20 % dari total CPO atau sekitar 2,8 juta ton. Sedangkan kebutuhan minyak goreng dalam negeri terbesar ada di pulau Jawa, yaitu 200.000 - 280.000 ton per bulan sedangkan kebutuhan di Luar Jawa masing-masing pulau besar, kebutuhannya berkisar antara 70.000 - 90.000 ton per bulan (Kompas, 2007) . Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa tingkat ketersediaan minyak goreng bekas di Indonesia masih cukup tinggi, meskipun angkanya jelas di bawah jumlah kebutuhan minyak goreng (kira-kira jumlah minyak jelantah 25% dari jumlah minyak goreng yang tersedia) . Sangatlah beralasan jika kita menggunakan minyak goreng bekas sebagai bahan baku, dan ke depan dalam skala yang lebih besar.

III. BIO-OIL

A. Standar Mutu Bio-oil

Mengacu kepada *road map Biooil DESDM* 2005 – 2010 pencapaian produksi bio-oil dapat diperoleh dengan teknologi pirolisis cepat, dan kebutuhan panasnya yang cukup tinggi. Dari pendekatan yang berbeda, pirolisis terlihat sebagai sebuah metode yang sederhana dan efisien untuk memproduksi bahan bakar (Lima, G.Daniela, 2003). Dua faktor penting yang perlu diperhatikan pada proses dekomposisi termal terhadap minyak jelantah adalah terjadinya penurunan harga viskositas dan naiknya harga titik nyala. Pengembangan bio-oil dapat menggantikan posisi hidrokarbon dalam industri, seperti untuk mesin pembakaran, boiler, diesel statis dengan putaran

sampai 1500 rpm, dan gas turbin. Pada skala yang lebih besar, perlu diperhitungkan faktor energi panas yang digunakan pada proses pembuatannya.

Pada waktu diselenggarakan-nya *Workshop* Pengembangan dan Pemanfaatan Biodiesel sebagai Bahan Bakar Alternatif oleh Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi – DESDM produk bio-oil mempunyai standar mutu bio-oil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

IV. PERANCANGAN UNIT PROLISIS

A. Flow Diagram Process

Unit pirolisis ini terdiri dari tangki umpan (T-01), *Flow meter* (F-01), *Valve* (V-01), Reaktor (R-01), gas N₂, pendingin (HE-01), separator (S-01) dan tangki penampung hasil (bio-oil T-01). PFD ditunjukkan seperti pada Gambar 1 dan Reaktor pada Gambar 2.

B. Reaktor

1. Umpan Reaktor

Reaktor adalah sebagai tempat terjadinya proses perengkahan termal. Umpan masuk reaktor adalah minyak jelantah pada kondisi atmosferik dan temperatur tinggi (400^o-500^o C), tanpa adanya oksigen, disebabkan adanya gas N₂ inert, yang mengisi reaktor terlebih dahulu. Gas N₂ tersebut juga mempermudah pelepasan zat-zat yang mudah menguap dan sangat sedikit pembentukan arang. Reaktor dirancang dengan kapasitas maksimum 2 L/J.

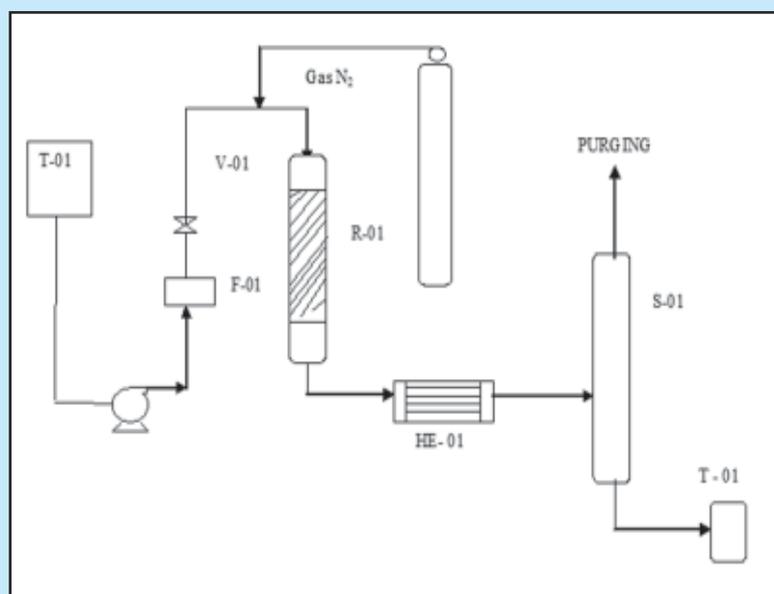
2. Perhitungan Reaktor

Pemilihan pipa

Karena reaksi melibatkan senyawa yang korosif, maka bahan yang digunakan adalah *stainless steel*

Tabel 1
Standar Mutu Bio Oil

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Angka Asam	Mg KOH/g	Maks 2.0
2	Fosfor	(mg/kg)	Maks 10
3	Kadar air & sedimen	% - volume	Maks 0.075
4	Bahan tak tersabunkan	% - berat	Maks 2.0
5	Viskositas kinematik pada 50°C	mm ² /s (cSt)	Maks 36
6	Angka tersulfatkan	% - massa	Maks 0.02
7	Angka penyabunan	Mg KOH/g	180 - 265
8	Angka iodium	g - I ₂ / 100 g	Maks 115
9	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	Min 100
10	Residu karbon	% - massa	Maks 0.4
11	Massa jenis pada 50°C	kg/m ³	900 - 920
12	Angka setana	-	Min 39
13	Belerang	(% - berat)	Maks 0.01



Gambar 1
Proses Flow Diagram Unit Pirolisis

AIAl 316 (Brownell and Young, 1959), maka,

- Tekanan bahan yang diijinkan, *fall* = 15000 psi
- Efisiensi sambungan untuk jenis *double welded*, E = 0,8

- Minimum Corrosion allowance, $c = 0,002$ (Brownell & Young, 1979)

Pemilihan diameter pipa berdasarkan pada pertimbangan agar perpindahan panas dapat berjalan dengan baik. Colburn telah meneliti hubungan rasio D_p/D_t (diameter partikel/ diameter pipa) terhadap transfer panas pipa berisi katalis/pipa kosong (hw/h). Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Dp/Dt	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
Hw/h	5,5	7,0	7,8	7,5	7,0	6,6

Diameter partikel bahan isian diambil 0,2 mm, diameter dalam tube reaktor, $ID_r = 13,3 \text{ mm} = 0,5349 \text{ inc.}$, maka diambil pipa dengan ukuran standar 1/2 NPS, Sch. 40 dengan :

$$\frac{D_p}{D_t} = 0,15 \text{ pada } Hw/h \text{ max. } 7,8$$

Inside diameter (ID) $r = 0,622 \text{ in.} = 15,7988 \text{ mm} = 1,5799 \text{ cm.}$

Outside diameter (OD) $r = 0,840 \text{ in.} = 21,3360 \text{ mm} = 2,1336 \text{ cm.}$

Sedang tinggi reaktor yang diinginkan $H_r = 40 \text{ cm.}$

$$\text{Luas penampang reaktor} = \frac{\pi}{4} (ID)r^2 = 1,959 \text{ cm}^2$$

$$\text{Volume reaktor (Vr)} = A \cdot h_r = 58,7813 \text{ ml} = 0,0587 \text{ cm}^3$$

$$\text{Tebal Reaktor } t_{\text{reaktor}} = \frac{P \cdot X \cdot r_i}{f \cdot X E - 0,6 \cdot X P} + C \dots \dots \dots (\text{Rase, 1977})$$

$P = P \text{ desain} + P \text{ hidrostatik}$

$$P \text{ desain} = 1,2 \times P \text{ operasi} = 1,2 \times 1 \text{ atm} = 1,2 \text{ atm} = 17,64 \text{ psi.}$$

$$P \text{ hidrostatik} = \rho_c \cdot g \cdot h = (0,8988 \text{ kg/m}^3) (9,8 \text{ m/s}^2) (0,3 \text{ m}) = 0,00036 \text{ Psi.}$$

$$P \text{ total} = (17,64 + 0,00036) \text{ Psi} = 17,64 \text{ Psi}$$

$$\text{Tebal tube} = \frac{17,64 \times 0,311}{15000 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 17,64} = 0,000456 \text{ inc}$$

$$\text{Tebal pipa } \frac{1}{2} \text{ NPS Sch. N. 40} = \frac{(OD)r - (ID)r}{2} = 0,19 \text{ inc.}$$

Tebal pipa standar sudah memenuhi syarat.

$$\text{Tinggi ruang kosong, hsp} = 2 \times 5 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi reaktor, Hr} = \text{tinggi katalis} + \text{hsp} = (30 + 10) \text{ cm} = 40 \text{ cm.}$$

$$\text{Volume tube} = \frac{\pi}{4} (ID)r^2 \times H_r = 97,9589 \text{ cm}^3$$

Tebal Penyangga Katalis .

Penyangga bahan isian katalis (kuarsa) yang digunakan adalah dari kawat anyam baja dengan diameter lubang 0,1 mm

V. PERCOBAAN

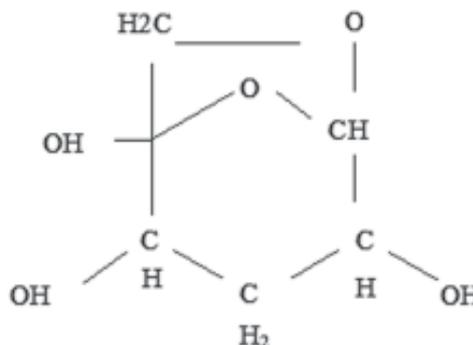
A. Penyiapan Bahan Baku

Bahan baku minyak jelantah diperoleh dari restoran cepat saji seperti Kentucky Fried Chicken, MacDonald, Texas Fried Chicken, dan para pedagang gorengan di pinggir jalan. Masing-masing sampel tersebut secara proporsional digabung jadi satu, kira-kira ada 10 liter. Kemudian diaduk kira-kira 30 menit sambil dipanaskan pada suhu kira-kira 100°C dengan maksud untuk menghilangkan air. Setelah itu dibiarkan pada suhu kamar dan disaring untuk menghilangkan kotoran-kotoran dengan menggunakan kertas saring.

Hasil analisis minyak jelantah setelah penyaringan, ditunjukkan pada Tabel 2.

B. Mekanisme Percobaan

1. Pipa reaktor diisi kuarsa dengan diameter partikel (-3,5+6) mesh dan (-6+8) mesh, serta tebal tumpukan katalis, 5 cm, 10 cm, dan 15 cm.
2. Gas N2 dialirkan kedalam reaktor sampai ke aliran produk.
3. Umpan jelantah dimasukkan kedalam reaktor maksimum 2L/J. Diujikan pada variabel suhu 50°C, 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, dan 450°C,
4. Dihasilkannya produk bio-oil dengan rumus molekul empiris sebagai berikut:



Produk bio-oil ditampung ditangki penampung , dan sebagian gas CO₂ dan H₂ yang tidak terkondensasi dibuang.

Dilakukan uji parameter bio-oil sesuai dengan standar mutu pada Tabel 1.

V. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Uji Laboratorium

Adapun hasil dari uji laboratorium terhadap parameter-parameter tersebut ditunjukkan pada Grafik I A, IB, IC, ID, IE, IF

B. Analisis

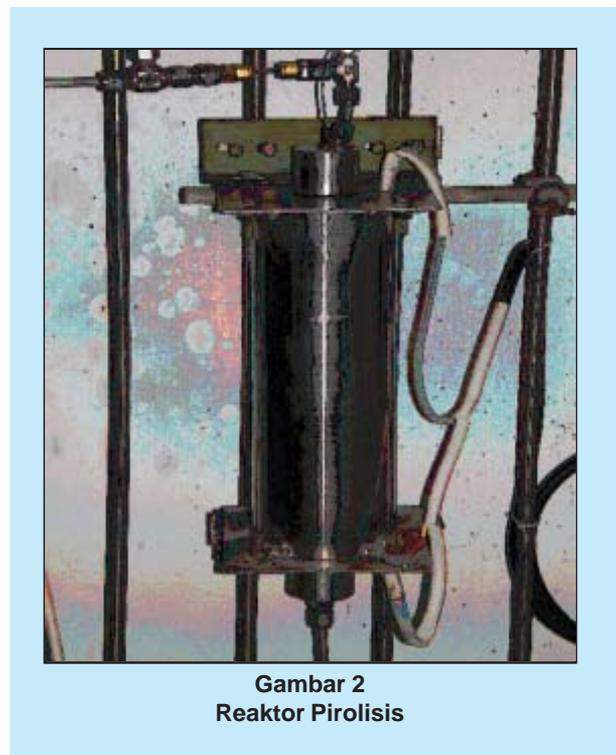
Pada Grafik IA diameter partikel kuarsa (-3,5+6) mesh. dan ketebalan 5 cm. menunjukkan harga viskositas semakin turun bila temperatur naik, meskipun turunnya viskositas masih sangat kecil. Ternyata turunnya harga viskositas diikuti juga oleh turunnya harga parameter yang lain (titik nyala, kadar air, massa jenis, angka asam, dan kadar belerang). Jelas di sini telah terjadi proses dekomposisi termal. Hanya saja pada temperatur 150°C dan 200°C sedikit terjadi penurunan harga titik nyala, kemungkinan ini disebabkan sedikit ada peristiwa polimerisasi. Tetapi terjadi kenaikan kembali pada saat suhu terus naik sampai mencapai 500°C dan ini memastikan peristiwa dekomposisi termal terjadi.

Untuk ketebalan tumpukan partikel 10 cm, hal yang sama menunjukkan harga viskositas semakin turun bila temperatur naik, meskipun turunnya viskositas masih sangat kecil. Ternyata turunnya harga viskositas diikuti juga oleh turunnya harga parameter yang lain (titik nyala, kadar air, massa jenis, angka asam, dan kadar belerang). Jelas di sini telah terjadi proses dekomposisi termal. Tetapi penurunannya belum menunjukkan perbedaan yang besar dibanding dengan ketebalan yang 5 cm.

Untuk ketebalan tumpukan partikel 15 cm, terjadi proses dekomposisi yang lebih baik karena kemungkinan kontak partikel terhadap temperatur lebih merata. Sehingga harga viskositas terendah yang dicapai pada suhu 500°C sebesar 37°C. Namun demikian terutama untuk harga viskositasnya belum memenuhi syarat untuk *bio-oil*, meskipun persyaratan parameter yang lain sudah memenuhi.

Pada Grafik IA diameter partikel bahan isian/kuarsa (-6+8) mesh. dan

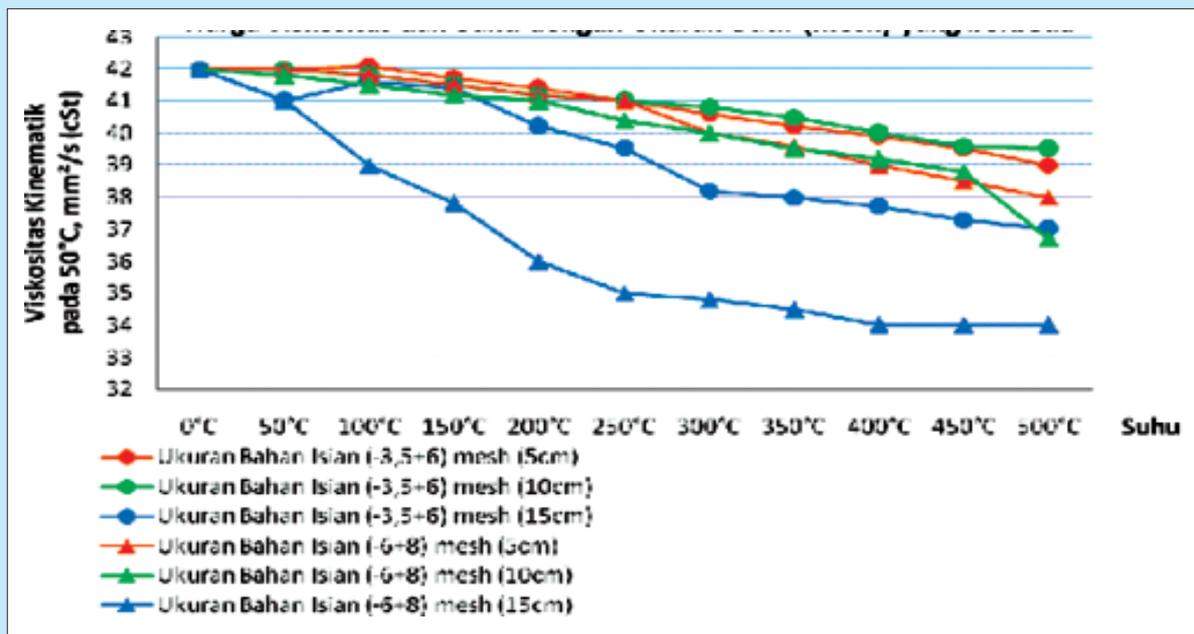
ketebalan 5 cm harga viskositas kinematis semakin turun dengan naiknya temperatur pirolisis. Angka penurunannya lebih rendah bila dibanding dengan yang ukuran mesh (+3,5 -6), ini disebabkan butiran partikel lebih halus sehingga luas permukaan partikel lebih terdekomposisi dengan suhu. Dalam operasional penelitian terlihat lebih stabil setiap terjadi perubahan pada suhu. Viskositas terendah yang dicapai pada suhu 500 °C adalah 39 cSt. dan ini diikuti dengan penurunan parameter kadar air, masa jenis, angka asam, dan belerang. Sedangkan untuk harga titik nyala mulai suhu 400°C menunjukkan harga yang tetap (109°C)



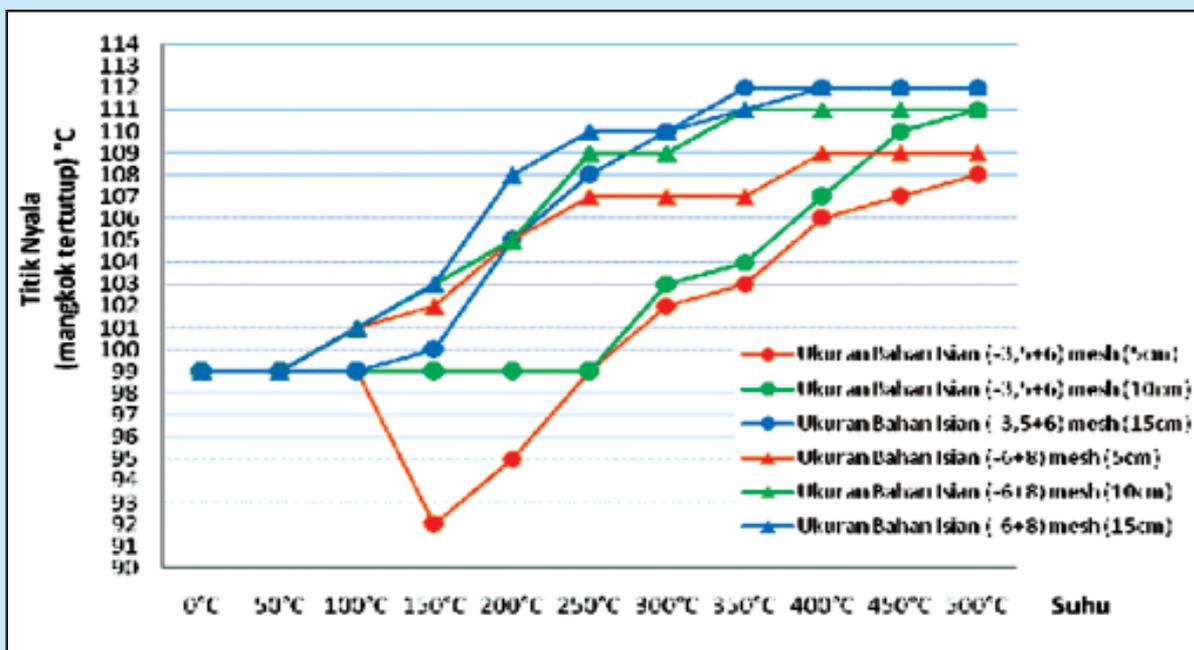
Gambar 2
 Reaktor Pirolisis

Tabel 2
 Karakteristik Minyak Jelantah (sudah disaring)

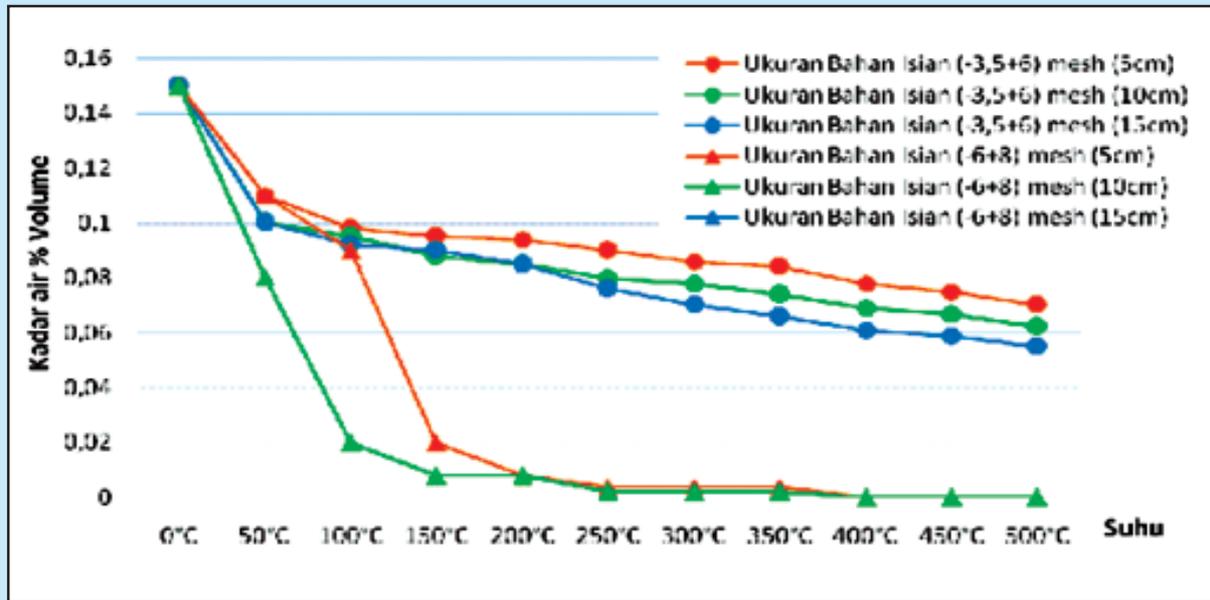
No.	Karakteristik	Satuan	Hasil Analisa	Metode Uji
1	Viskositas Kinematik	mm ² /s	42	D 445
2	Density pd. 30 °C	Kg/m ³	923	D 1298
	Density pd. 50 °C	Kg/ m ³	918	D 1298
3	Kadar Air	% volume	0,15	ASTM D1551
4	Sulphur	% weight	0,028	ASTM D1551
5	Titik Nyala	°C	1002	D 93
6	Angka Asam	mgKOH/gr	1,4	ASTM D 974



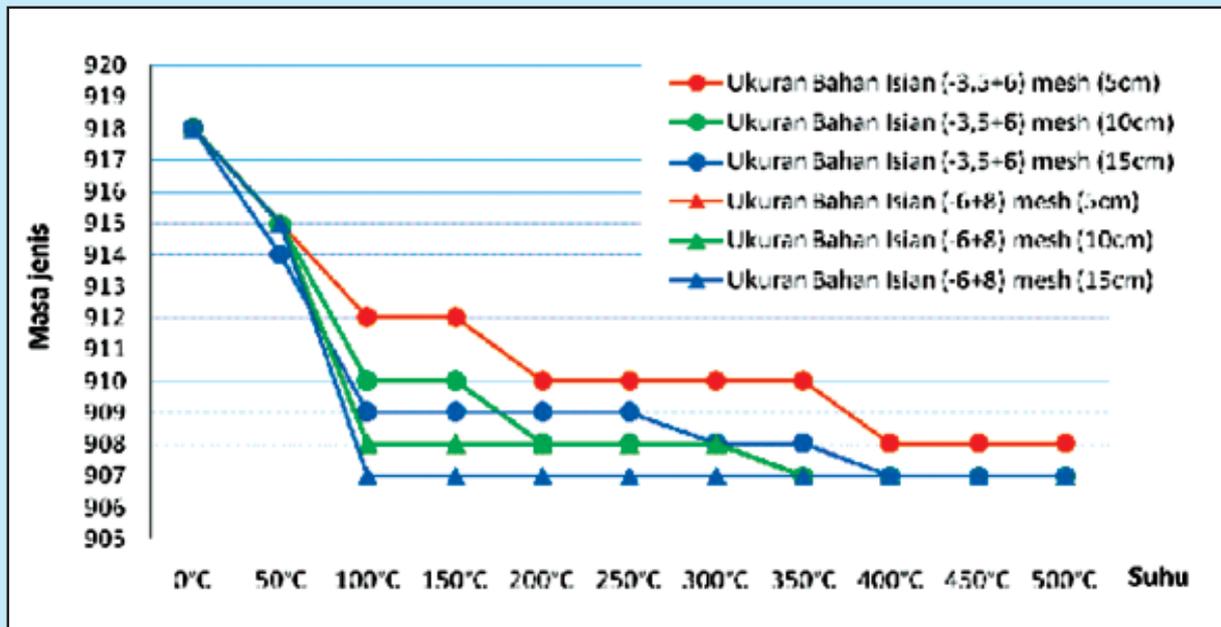
Grafik I A
 Harga Viskositas dan Suhu dengan ukuran butir (mesh) yang berbeda



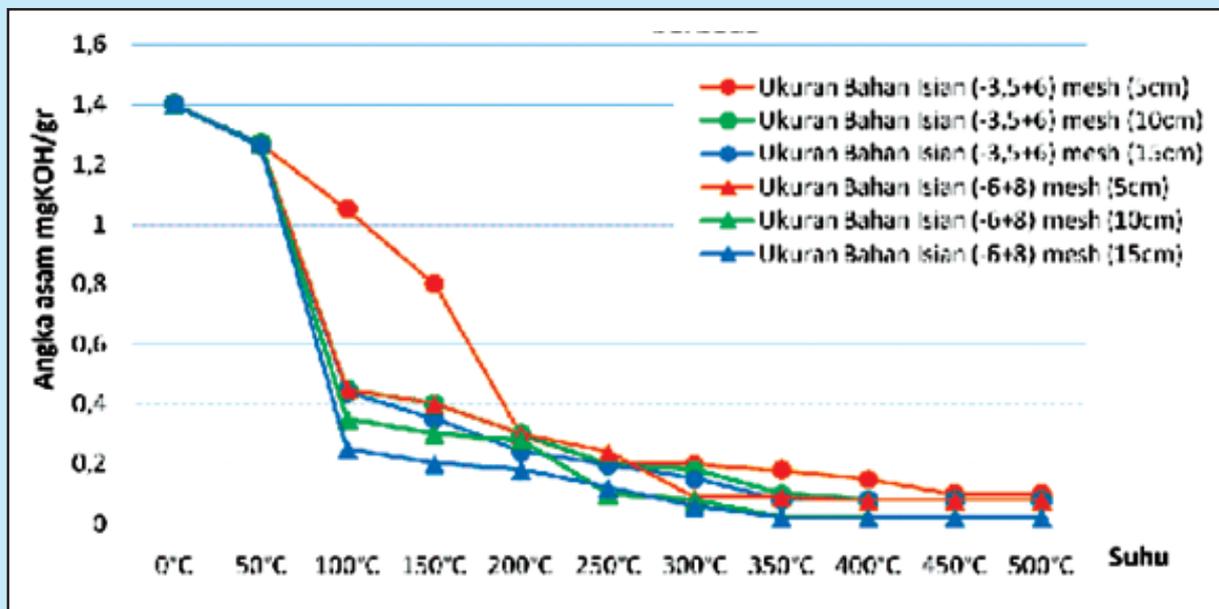
Grafik I B
 Titik nyala dan suhu dengan ukuran butir (mesh) yang berbeda



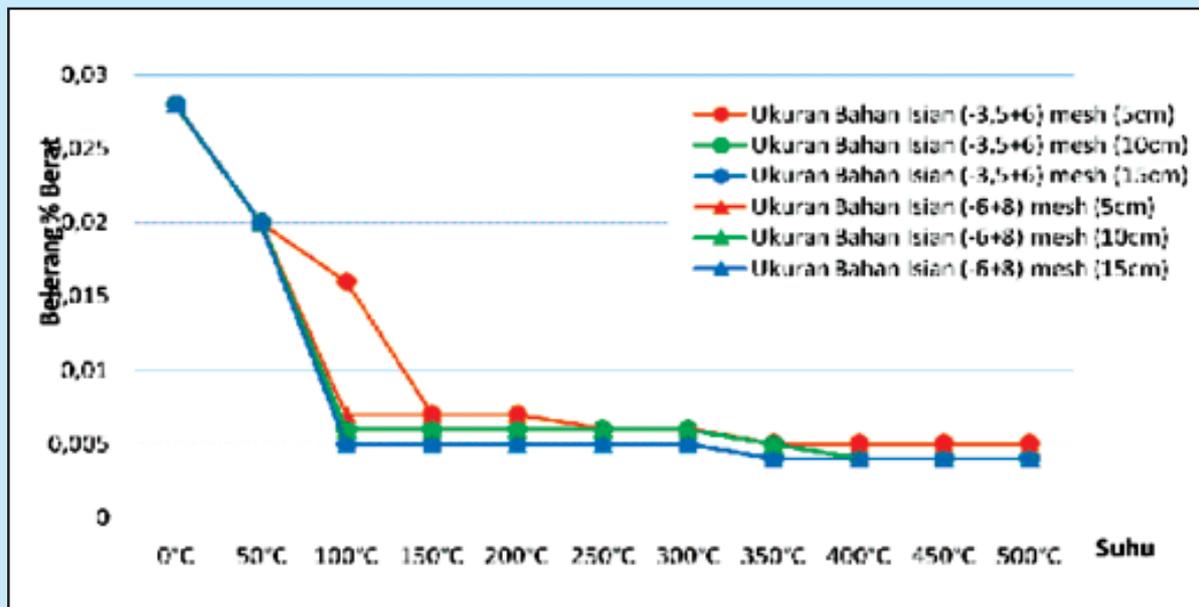
Grafik I C
 Kadar air % volume dan suhu dengan ukuran butir (mesh) yang berbeda



Grafik I D
 Massa jenis pada 50°C, kg/m³ dan suhu dengan ukuran butir (mesh) yang berbeda



Grafik I E
 Angka asam mgKOH/gr dan suhu dengan ukuran butir (mesh) yang berbeda



Grafik I F
 Belerang % berat dan suhu dengan ukuran butir (mesh) yang berbeda

Untuk ketebalan partikel bahan isian 10 cm, memperlihatkan hasil harga viskositas lebih rendah bila dibanding dengan harga viskositas pada ketebalan 5 cm. yaitu 36,7 cSt diikuti nilai angka asam dan kadar belerang. Kemungkinan ini disebabkan oleh pengaruh ketebalan bahan isian yang memberikan proses dekomposisi yang lebih baik. Untuk masa jenis dan kadar air nilai terendah tetap. Sedangkan untuk harga titik nyala mengalami penurunan pada suhu 350°C sampai dengan 500°C menjadi 111 °C.

Untuk ketebalan partikel bahan isian 15 cm, ukuran mesh (-6,+8), dengan naiknya suhu pirolisis semakin menunjukkan penurunan harga viskositas kinematis yang signifikan. Hal ini disebabkan dengan butiran yang lebih halus dan tumpukan katalis lebih tebal, mengalami distribusi suhu dan kontak panas permukaan partikel lebih bagus dan merata, sehingga proses dekomposisi termalnya lebih baik sampai batas suhu pirolisis tertentu. Harga viskositas terendah yang dicapai terjadi pada suhu 400°C sampai dengan temperatur 500°C dengan angka tetap 34 cSt diikuti dengan angka terendah untuk harga kadar air 0 % , masa jenis 907 kg/m², angka asam 0,02 mg KOH/g dan kadar belerang 0,004 % berat, sedangkan harga titik nyala maksimum 112°C. Ternyata besarnya harga-harga ini telah memenuhi enam persyaratan mutu bio-oil (lihat Tabel 1.)

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian perancangan pilot plant pembuatan bio-oil dari minyak jelantah dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Rancang bangun unit pirolisis skala laboratorium mampu melakukan proses dekomposisi termal terhadap minyak jelantah.
2. Ukuran butiran partikel bahan isian (kuarsa) semakin halus dan penumpukan katalis lebih tebal akan memberi pengaruh yang lebih baik terhadap proses dekomposisi termal. Pada penelitian ini diameter partikel terpilih (-6+8) mesh.
3. Kondisi terbaik untuk melakukan dekomposisi termal yaitu pada suhu 400°C dan ketebalan bahan isian 15 cm
4. Standar mutu bio-oil yang diperoleh pada suhu 400°C, (-6,+8) mesh. dan ketebalan bahan isian (kuarsa) 15 cm, sebagai berikut:

- viskositas kinematis pada 50°C = 34 cSt.
- titik nyala (mangkok tertutup) = 112°C
- kadar air % volume = 0
- masa jenis pada 50°C , kg/m² = 907
- angka asam mg KOH/g = 0,02
- kadar belerang % berat = 0,004

Harga tersebut di atas memenuhi standar mutu persyaratan bio-oil.

Saran

1. Masih perlu dikaji dan diteliti untuk kapasitas produksi yang lebih besar untuk itu kemungkinan perlu dibuat reaktor yang lebih panjang lagi (> 30 cm). Teknologi pirolisis ternyata memakai energi panas yang cukup tinggi..
2. Hasil penelitian ini belum diuji cobakan terhadap mesin, maka perlu diuji coba pada mesin untuk mengetahui uji emisi, torsi, dan lain-lain.

KEPUSTAKAAN

1. Adebano, A., 2005, "Production of Fuel and Chemical from Biomass-Derived Oil and Lard", University of Saskatchewan, Saskatoon, India
2. Ayhan Demirbas and Göneng Arin, 2002, " An Overview of Biomass Pyrolysis", Energy Sources, Volume 24, Number 5, 2002,p. 471 - 482 ,Taylor & Francis publisher.
3. Lima, G. Daniela, "Diesel-like Fuel Obtain by Pyrolysis of Vegetable Oils, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2003
4. Nazzal, J.M., 2001, " Gas Evolution from the Pyrolysis of Jordan Oil Shale in A Fixed-bed Reactor", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Media B.V., Formerly Kluwer Academic Publishers B.V.
5. Profil Kelapa Sawit Indonesia, 2005, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan, Indonesia
6. Zhenyi, C., 2004, "Thermodynamics Calculation of the Pyrolysis of Vegetable Oils", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Volume 26, Issue 9 July 2004 , pages 849 - 856.~