OPTIMALISASI PROSES ESTRANS PADA PEMBUATAN BIODISEL DARI MINYAK JARAK PAGAR (*Jatropha curcas* L.)

(*Estrans Process Optimization in Biodiesel Manufacturing from Jatropha curcas L. Oil*)

Oleh/By :

R. Sudradjat, Indra Jaya & D. Setiawan

ABSTRACT

Production of biodiesel from Jatropha curcas L. oil was done through "estrans" process, which was esterification process on the first step, continued with transesterification on the second step. Variable factors (treatments) used in esterification process were: HCl catalyst (1% and 2%), percentage of methanol to oil 0 ; 5 ; 10 ; 15 ; 20% (v/v) and reaction time (1 and 2 hours), with temperature fixed at 60°C. In transesterification process, variables used were: percentage of methanol to oil 0 ; 5 ; 7.5 ; 10 ; 15 and 20% (v/v) and reaction time of 0.5 and 1.0 hours. In this step, NaOH catalyst was used, and temperature fixed at 60°C.

The results showed that esterification process using 10% methanol could decrease acid value significantly down to the ASTM PS-121 standard level (<0.8 mg KOH/g oil). Similar for transesterification, viscosity significantly decreased down to the ASTM PS-121 standard level (<6.0 cSt) when applied with 10% methanol. Although density did not significantly decrease, the value fit the European standard (0.87 - 0.90 g/ml). Complete analyses as introduced to biodiesel produced at optimum condition process showed that all physico-chemistry properties could fit the ASTM PS-121 standard.

Keywords: Biodiesel, Jatropha curcas L., estrans, esterification, transesterification.

ABSTRAK

Pembuatan biodisel dilakukan dengan 2 tahap yaitu tahap pertama proses esterifikasi dan pada tahap kedua proses transesterifikasi. Perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis HCl (1% dan 2%), persentase metanol terhadap minyak 0 ; 5 ; 10 ; 15 dan 20% (v/v) dan lama reaksi (1 jam dan 2 jam), suhu diatur konstan pada 60°C. Dalam proses transesterifikasi perlakuannya adalah: persentase metanol terhadap minyak 0 ; 5 ; 7,5 ; 10 ; 15 dan 20% (v/v), lama reaksi 0,5 jam dan 1 jam. Pada tahap ini katalis yang digunakan adalah NaOH dan suhu konstan pada 60°C. Parameter yang diamati adalah yang merupakan respons terhadap perlakuan yang diberikan dalam penelitian yaitu : bilangan asam, kekentalan dan kerapatan biodisel. Konversi maksimum asam lemak menjadi metil ester ditunjukkan dengan rendahnya bilangan asam, kekentalan dan kerapatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses esterifikasi menggunakan metanol 10% dapat menurunkan bilangan asam secara nyata sampai persyaratan standar ASTM PS-121 ($< 0,8$ mg KOH/g minyak). Pada proses transesterifikasi menggunakan metanol 10% kekentalannya menurun sampai memenuhi persyaratan standar ASTM PS-121 ($< 6,0$ cSt). Meskipun kerapatan tidak menurun secara signifikan, tetapi nilainya memenuhi standar Eropa yaitu $0,87 - 0,90$ g/ml. Hasil analisa lengkap sifat fisiko-kimia biodisel dari sampel yang diolah pada kondisi optimum menunjukkan seluruh sifatnya memenuhi persyaratan ASTM PS-121.

Kata kunci: Biodisel, jarak pagar, estrans, esterifikasi, transesterifikasi.

I. PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar di Indonesia untuk transportasi dan industri masih menempati urutan tertinggi yaitu berturut-turut untuk transportasi, industri dan rumah tangga sebesar 37,7%; 36,2% dan 26,1% (Samiarso, 2001). Energi untuk transportasi dan industri umumnya menggunakan bahan bakar minyak bumi. Kebijakan energi di Indonesia berusaha terus menerus mengurangi konsumsi energi berbasis bahan bakar minyak bumi (BBM) yaitu dengan cara mengoptimalkan penggunaan energi yang terbarukan (renewable) dan mengurangi subsidi BBM. Dalam kenyataannya kontribusi penggunaan energi terbarukan terhadap total penggunaan BBM masih sangat kecil yaitu di bawah 1% (Samiarso, 2001).

Mesin disel banyak digunakan untuk transportasi karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya memiliki efisiensi tinggi, daya keluaran besar dan hemat bahan bakar. Kekurangannya adalah emisi partikulat dan oksida nitrogen (NO_x) yang tinggi (Hsu, 2000). Mesin disel yang ada sekarang ini menggunakan solar (petrodisel) sebagai bahan bakarnya. Petrodisel sebagai salah satu fraksi minyak bumi, ketersediaannya semakin berkurang seiring berkurangnya ketersediaan minyak bumi. Masalah tersebut harus segera diatasi dengan mencari bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan. Bahan bakar alternatif ini dapat dihasilkan dari tumbuhan (nabati) dan hewan (hewani).

Negara Eropa seperti Austria, Prancis dan Itali telah memproduksi bahan energi dari nabati yaitu metil ester dari asam lemak. Asam lemak yang digunakan berasal dari minyak kedelai, biji bunga matahari dan lobak (rapeseed) yang digunakan pada mesin disel (Gubitz *et al.*, 1999). Metil ester dari minyak biji lobak dikenal dengan istilah RME (*Rapeseed-oil methyl ester*), dari minyak kedelai dikenal sebagai SME (*Soybean-oil methyl ester*) dan dari minyak sawit dikenal sebagai PME (*Palm-oil methyl ester*).

Indonesia memiliki banyak sumber daya nabati yang dapat menghasilkan minyak, diantaranya kemiri, saga, kapuk, karet, jarak kastrol dan jarak pagar. Oleh karena itu, Indonesia berpotensi mengembangkan teknologi untuk memproduksi biodisel bagi kebutuhan dalam negeri bahkan untuk diekspor.

Biodisel adalah bahan bakar cair untuk mesin disel yang berasal dari minyak nabati atau hewani dan sifatnya terbarukan (Soerawidjaja, 2001). Secara kimiawi, biodisel merupakan turunan lipid dari golongan monoalkil ester dengan panjang rantai karbon 12-20 (Darnoko *et al.*, 2001). Biodisel dapat berupa minyak mentah (crude) dengan sumber

karbon dari asam lemak atau berasal dari bentuk ester asam lemaknya, umumnya berupa metil ester atau etil ester.

Metil ester dan etil ester adalah senyawa yang relatif stabil, cair pada suhu ruang (titik leleh antara 4 - 18°C), non-korosif dan titik didihnya rendah. Dalam beberapa penggunaan, metil ester lebih banyak disukai daripada penggunaan asam lemaknya. Metil ester lebih disukai daripada etil ester untuk alasan ekonomis dan stabil secara pirolitik dalam proses destilasi fraksional (Herawan & Sadi, 1997).

Kualitas biodisel sebagai produk bahan bakar mesin disel ditentukan oleh beberapa parameter penting, antara lain bilangan setana, kekentalan, titik tuang, dan kalor pembakaran. Titik pijar, titik awan, residu karbon *Conradson* dan titik penyumbatan penyaring dingin (CFPP = *Cold Filter Plugging Point*) juga merupakan parameter penting dan merupakan bagian dari standar kualitas biodisel. (Mittelbach, 2001).

Biodisel memiliki sifat yang hampir sama dengan petrodisel, tetapi dalam hal tertentu biodisel lebih unggul. Sifat biodisel yang lebih menguntungkan di antaranya adalah emisi yang rendah, pelumasan yang tinggi dan toksisitas yang relatif rendah terhadap lingkungan. Minyak jarak pagar mengandung racun (*ester forbol*) yang membuat minyak ini tidak dapat digunakan sebagai minyak makan. Pada Tabel 1 tercantum jenis asam lemak dan sifat minyak jarak pagar.

Tabel 1. Jenis asam lemak dan sifat minyak jarak pagar
Table 1. Kind of fatty acid and properties of Jatropha curcas L. oil

Jenis asam lemak (<i>Kind of fatty acid</i>)	Komposisi (<i>Composition</i>), %	Sifat minyak (<i>Oil properties</i>)	Nilai (<i>Value</i>)
Asam oleat (<i>Oleic acid</i>)	34,87	Bilangan asam (<i>Acid number</i>)	88,3
Asam linoleat (<i>Linoleic acid</i>)	16,98	Bilangan penyabunan (<i>Saponification number</i>)	176,6
Asam palmitat (<i>Palmitic acid</i>)	7,07	Bilangan iod (<i>Iodine number</i>)	96,0
Asam palmitoleat (<i>Palmitoleic acid</i>)	0,61	Kerapatan (<i>Density</i>) g/ml	0,92
Asam stearat (<i>Stearic acid</i>)	4,73	Kadar air (<i>Moisture content</i>), %	0,26

Sumber (*Source*): Sudradjat *et al.*, 2003

Proses transesterifikasi dengan metanol atau etanol dapat menggunakan katalis asam maupun basa. Katalis basa banyak digunakan karena reaksinya sangat cepat, sempurna dan dapat dilakukan pada suhu rendah (Sonntag, 1982).

Transesterifikasi minyak menjadi metil ester dapat dilakukan dengan satu atau dua tahap proses, bergantung pada jenis minyak. Minyak dengan kandungan asam lemak bebas lebih dari 5% dapat diesterifikasi terlebih dahulu dengan menggunakan katalis asam untuk mengkonversi asam lemak bebas menjadi bentuk ester. Selanjutnya diteruskan dengan

transesterifikasi menggunakan katalis basa (Sudradjat *et al.*, 2004). Pada minyak dengan kandungan asam lemak bebasnya rendah, prosesnya cukup dilakukan satu tahap. Adanya kandungan asam lemak bebas $> 0,5\%$ dan air $> 0,3\%$ dapat menurunkan rendemen transesterifikasi minyak (Freedman *et al.*, 1984). Bahkan Lee *et al.* (2002) melaporkan, bahwa rendemen transesterifikasi dapat ditingkatkan dari 25% menjadi 96% dengan menurunkan asam lemak bebas (pada minyak jelantah) dari 10% menjadi 0,23% dan menurunkan kadar air dari 0,2% menjadi 0,02%. Jumlah alkohol yang dianjurkan sekitar 1,6 kali jumlah yang dibutuhkan secara teoritis (*Stoichiometry*). Bahkan bisa dikurangi sampai 1,2 kali jika direaksikan dalam 3 tahap. Jumlah alkohol yang lebih dari 1,75 kali *stoichiometry* tidak mempercepat reaksi, bahkan mempersulit pemisahan gliserol selanjutnya (Sonntag, 1982). Proses transesterifikasi dapat dilakukan cara curah (*batch*) atau sinambung (*continuous*) pada suhu 50°C - 70°C (Darnoko *et al.*, 2001).

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji jarak pagar, metanol, NaOH, KOH, HCl, NaHCO_3 , indikator fenolftalein, merah metil dan air suling. Metanol dan NaOH yang digunakan sebagai pereaksi dalam proses *estrans* bersifat teknis. Alat-alat yang digunakan adalah labu didih leher dua, magnit pengaduk, termometer, ekstraktor minyak, pompa hidrolik, kondensor, HPLC, corong pemisah, kertas saring, kalorimeter, cawan porselin, oven, desikator, vis-kometer Ostwald, perangkat titrasi, labu ukur, gelas piala, erlemeyer dan lain-lain.

B. Metode

1. Ekstraksi dan analisa minyak

Minyak jarak pagar diperoleh dari hasil ekstraksi biji jarak pagar, yaitu dengan alat pres yang bekerja secara mekanis disertai pemanasan melalui kumparan listrik yang melingkar pada landasan blok dengan suhu 60°C selama 15 menit. Setelah minyak tidak mengalir, bungkil biji sisa dikeluarkan dan dipres kembali. Minyak yang dihasilkan dianalisa sifat fisiko-kimianya, yaitu kekentalan, kandungan asam lemak bebas, kadar air dan komposisi asam lemak. Analisa ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat minyak jarak pagar sebelum diproses menjadi biodisel.

2. Esterifikasi

Minyak jarak pagar hasil pengepresan disaring menggunakan kertas saring (*Whatman 44*), setelah itu diendapkan dan dipisahkan, selanjutnya larutan pada lapisan atas kemudian direaksikan dengan metanol teknis untuk mengkonversi asam lemak bebas melalui proses esterifikasi dengan bantuan katalis HCl sebanyak 1% dan 2% (v/v) pada suhu 60°C . Pencucian dilakukan dengan menggunakan air suling hangat mengandung basa lemah (NaHCO_3 , 0,01%).

3. Transesterifikasi

Minyak yang kadar asam lemak bebasnya sudah rendah, ditransesterifikasi oleh metanol teknis dengan bantuan katalis NaOH (0,5%) pada suhu 60°C. Pada tahap ini diperoleh metil ester (biodisel) yang masih bercampur dengan sisa katalis dan gliserol.

Untuk lebih memperoleh gambaran, rincian diagram alur proses pembuatan biodisel dicantumkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Diagram alur proses pembuatan biodisel
Figure 1. Flow diagram for manufacture of biodiesel

4. Pencucian biodisel

Gliserol berupa endapan kental yang berada di bawah biodisel, dipisahkan dengan mengalirkannya ke luar dari larutan biodisel. Biodisel selanjutnya dibersihkan dari sisa katalis dengan air hangat yang mengandung asam asetat (CH_3COOH 0,01%).

5. Analisa biodisel

Setelah diperoleh kondisi optimum proses *estrans*, biodisel diproduksi dalam jumlah yang lebih banyak. Biodisel yang dihasilkan dianalisis sebagai metil ester. Analisis yang dilakukan diantaranya adalah titik tuang, titik pijar, kadar air dan sedimen (ASTM 1769), kadar abu dengan metode pengabuan (ASTM 874), kerapatan dengan metode piknometer (ASTM D-298), titik nyala dengan metode *Pensky-Mortens Closed Tester* (ASTM 93), kekentalan (ASTM 445), titik awan dengan metode ASTM D250091, indeks setana dengan empat variabel persamaan berdasarkan kerapatan (ASTM 473796a) dan *Conradson carbon residu* dengan metode destilasi destruktif (ASTM D18988). Hasilnya dibandingkan dengan standar ASTM PS-121 untuk biodisel.

6. Perlakuan penelitian

a. Reaksi esterifikasi

Variabel perlakuan yang digunakan adalah konsentrasi HCl (A) dalam 2 taraf yaitu 1,0% (A_1) dan 2,0% (A_2); lama reaksi (B) dalam 2 taraf yaitu 60 menit (B_1) dan 120 menit (B_2); persentase volume metanol terhadap minyak (C) dalam 5 taraf yaitu 0% (C_1), 5% (C_2), 10% (C_3), 15% (C_4) dan 20% (C_5). Setiap kombinasi perlakuan dilakukan ulangan sebanyak 2 kali.

Parameter yang diamati adalah bilangan asam. Sampel yang digunakan adalah larutan hasil reaksi esterifikasi setelah dicuci dengan air hangat yang mengandung NaHCO_3 0,01%. Tujuan proses esterifikasi adalah diketahuinya kondisi reaksi optimum yang menghasilkan minyak dengan kandungan asam lemak bebas terendah ($< 0,8$ mg KOH/g minyak). Minyak yang dihasilkan dari kondisi reaksi optimum ini akan digunakan untuk proses selanjutnya yaitu transesterifikasi. Analisis lain yang diperlukan adalah bilangan penyabunan untuk menentukan bilangan ester teoritis, kerapatan dan kekentalan kinematik.

b. Reaksi transesterifikasi

Variabel perlakuan yang digunakan adalah : lama reaksi (A) dalam 2 taraf yaitu 30 menit (A_1) dan 60 menit (A_2); persentase volume metanol minyak (B) dalam 6 taraf yaitu 0% (B_1), 5% (B_2), 7,5% (B_3), 10% (B_4), 15% (B_5) dan 20% (B_6). Setiap kombinasi perlakuan dilakukan ulangan sebanyak 2 kali.

Parameter yang diamati adalah bilangan asam dan kekentalan minyak. Pengukuran kekentalan dilakukan pada minyak hasil reaksi transesterifikasi setelah dicuci dengan air hangat yang mengandung CH_3COOH 0,01%. Tujuan proses transesterifikasi adalah diketahuinya kondisi reaksi optimum yang menghasilkan metil ester dengan kekentalan

kinematik terendah. Hasil ini dikonfirmasi dengan pengukuran kadar metil ester menggunakan alat HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*).

Analisis lain yang diperlukan adalah bilangan penyabunan, bilangan asam, kerapatan dan kekentalan kinematik. Analisis bilangan asam diperlukan pada kondisi transesterifikasi optimum untuk mengetahui kandungan asam lemak bebas pada metil ester yang akan diaplikasikan sebagai biodisel.

7. Analisa data

a. Reaksi esterifikasi

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) berpola Faktorial. Parameter yang diamati yaitu bilangan asam, karena target reaksi ini hanya untuk mengetahui nilai bilangan asam terendah yang dihasilkan dari penggunaan variabel perlakuan dalam penelitian ini.

Hasil analisis sidik ragam dilanjutkan dengan uji jarak beda nyata jujur (Tukey) yaitu untuk mengetahui kombinasi perlakuan yang menyebabkan perbedaan nyata dari bilangan asam yang dihasilkan.

Selanjutnya untuk menelaah hubungan (kecenderungan) antara bilangan asam (Y) dengan penambahan metanol (X) digunakan regresi polinomial dalam bentuk linear atau kuadratik, kubik dan kuartik, berikut koefisien korelasinya (R).

b. Reaksi transesterifikasi

Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) berpola Faktorial. Rancangan ini digunakan untuk parameter pengamatan bilangan asam, kekentalan kinematik dan kerapatan biodisel. Hal tersebut disebabkan target dari reaksi transesterifikasi adalah untuk mengetahui bilangan asam, kekentalan kinematik dan kerapatan biodisel yang terendah yang dihasilkan oleh variabel perlakuan pada penelitian ini.

Selanjutnya untuk menelaah hubungan antara kekentalan kinematik dan bilangan asam (Y) dengan penambahan metanol (X) digunakan regresi polinomial dalam bentuk linear atau kuadratik, kubik dan kuartik, berikut koefisien korelasinya (R).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rendemen dan Analisa Minyak

Rendemen minyak hasil pengempaan pertama berkisar antara 25,9 - 42,8% dengan rata-rata 36,09% (Lampiran 1). Pengempaan kedua menghasilkan rendemen minyak sebesar 11,6%. Total rendemen hasil pengempaan adalah 47,69.

Minyak jarak pagar memiliki kadar air yang cukup rendah yaitu 1,54%. Menurut standar batas maksimum kadar air adalah 2%. Kerapatan menunjukkan nilai 0,907 g/ml dan kekentalan kinematik minyak tersebut pada suhu 27°C adalah 49,84 cSt. Bilangan asam

minyak adalah 39,02 mg KOH/g minyak, bilangan penyabunan sebesar 186,08 mg KOH/g minyak dan bilangan ester teoritis sebesar 147,06 mg KOH/g minyak.

Bilangan asam sebesar 39,02 mg KOH/g minyak tergolong tinggi karena nilainya jauh di atas persyaratan ($< 1,0$ mg KOH/g minyak). Tingginya bilangan asam ini menunjukkan tingginya kandungan asam lemak bebas yang apabila secara langsung dibuat biodisel dengan proses transesterifikasi akan menghasilkan sabun, bukan metil ester.

B. Esterifikasi

Proses esterifikasi dimaksudkan untuk menurunkan asam lemak bebas dalam minyak. Proses esterifikasi sangat dipengaruhi oleh jumlah dan jenis katalis, lamanya reaksi, suhu reaksi dan jumlah metanol sebagai pereaksi.

Bilangan asam minyak jarak pagar pada awalnya adalah 39,02 mg KOH/g minyak. Hasil analisis menunjukkan, bahwa bilangan asam minyak jarak pagar yang telah diesterifikasi menurun maksimum menjadi 0,60 mg KOH/g minyak.

Analisa sidik ragam menunjukkan, bahwa perlakuan lama reaksi (B), jumlah metanol (C) dan interaksi keduanya ($B \times C$) memberikan hasil yang sangat nyata terhadap bilangan asam. Interaksi perlakuan jumlah katalis, lama reaksi dan jumlah metanol ($A \times B \times C$) juga berpengaruh nyata terhadap nilai bilangan asam minyak. Sedang perlakuan jumlah katalis (A), interaksi jumlah katalis dengan jumlah metanol ($A \times C$) dan interaksi jumlah katalis dengan lama reaksi ($A \times B$) tidak berpengaruh nyata terhadap nilai bilangan asam.

Hasil uji beda nyata jujur (Tukey) menunjukkan, bahwa kombinasi perlakuan $A_1B_2C_4$, $A_1B_1C_4$, $A_2B_2C_4$ dan $A_1B_2C_2$ merupakan kondisi kombinasi reaksi esterifikasi terbaik. Tetapi hasil BNJ antara keempat kombinasi perlakuan tersebut tidak berbeda nyata, tapi berbeda dengan seluruh kombinasi perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini (Lampiran 2).

Pemilihan jumlah metanol sangat menentukan proses berikutnya yaitu reaksi transesterifikasi. Menurut Wright *et al.* (1994), reaksi transesterifikasi tidak berjalan dengan sempurna jika kadar asam lemak bebas dalam minyak (biji kapas) masih cukup tinggi (0,4%). Dengan menganalogikan fenomena tersebut di atas, maka pada penelitian ini juga memerlukan persyaratan yang sama yaitu bilangan asam di bawah ambang batas 0,8 mg KOH/g minyak.

Kelompok kombinasi perlakuan $A_1B_2C_4$, $A_1B_1C_4$, $A_2B_2C_4$ dan $A_1B_2C_2$ memenuhi persyaratan di atas, yaitu menghasilkan minyak dengan bilangan asam di bawah 0,8 mg KOH/g minyak. Dari keempat kombinasi perlakuan tersebut, $A_1B_2C_2$ dipilih sebagai kondisi optimum karena memiliki konsumsi metanol yang cukup rendah yaitu 10% (%), lama reaksi 120 menit dan jumlah katalis HCl sebanyak 1% (%).

Jumlah katalis HCl 1% sudah cukup menurunkan bilangan asam minyak jarak pagar yang diesterifikasi. Hal ini disebabkan jumlah molekul katalis HCl sudah mencukupi dalam mempercepat terjadinya reaksi esterifikasi.

Interaksi antara asam lemak dan metanol bersifat bolak-balik (*reversible*) dan prosesnya sangat lambat. Mekanisme reaksi esterifikasi yang memakai katalis asam melibatkan proses protonasi atom oksigen pada gugus karbonil asam lemak membentuk ion oksonium yaitu suatu ion konjugat asam dari asam lemaknya. Ion ini mengalami reaksi pertukaran dengan

molekul metanol pada sepanjang dipol CO^+ gugus karbonil untuk menghasilkan molekul air, selanjutnya proton dilepaskan untuk menghasilkan metil ester.

Reaksi pertukaran antara molekul metanol dengan asam lemak merupakan proses yang sangat lambat dan sangat menentukan kesempurnaan proses reaksi keseluruhan. Jumlah metanol yang memadai sangat membantu kesempurnaan reaksi pada tahapan ini. Pada proses esterifikasi menggunakan 10% metanol dinilai memadai untuk membantu protonasi gugus karbonil.

Reaksi selama 60 menit memberi efek yang kurang nyata terhadap penurunan bilangan asam, sehingga diperlukan waktu lebih lama yaitu 120 menit untuk menghasilkan kondisi optimum dari proses esterifikasi.

Kecenderungan pengaruh penambahan metanol (C) terhadap penurunan bilangan asam (Y) pada kondisi optimum (konsentrasi HCl 1% dan waktu reaksi 120 menit/ A_1B_2) dapat digambarkan menggunakan regresi polinomial sebagai berikut (Gambar 2).

Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi metanol dan bilangan asam minyak pada proses esterifikasi

Figure 2. Relationship between methanol concentration and acid value in esterification process

Bilangan penyabunan minyak jarak pagar setelah diesterifikasi adalah 191,57 mg KOH/g minyak. Dengan bilangan asam 0,62 mg KOH/g minyak, maka bilangan ester teoritis minyak tersebut adalah 190,95 mg KOH/g minyak. Bilangan ester teoritis tidak secara murni menunjukkan kandungan metil ester. Kerapatan dan kekentalan kinematik minyak pada suhu 27°C berturut-turut adalah 0,907 g/ml dan 42,062 cSt. Kerapatan dan kekentalan minyak masih cukup tinggi, sehingga tidak memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bakar otomotif. Untuk menurunkan kedua parameter tersebut diperlukan proses transesterifikasi.

C. Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi dilakukan untuk mengkonversi trigliserida dalam minyak jarak pagar yang sudah diesterifikasi menjadi metil ester. Reaksi ini dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah sifat minyak itu sendiri misalnya kandungan air, kandungan asam lemak bebas dan kandungan zat terlarut maupun tak terlarut. Faktor eksternal adalah kondisi yang bukan berasal dari minyak dan dapat mempengaruhi reaksi diantaranya adalah suhu, waktu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi katalis serta rasio volume metanol terhadap minyak.

Kekentalan minyak sebelum ditransesterifikasi sangat tinggi yaitu 42,062 cSt. Hal ini disebabkan oleh kandungan trigliserida yang tinggi. Minyak yang ditransesterifikasi sebagian atau seluruhnya memiliki kekentalan kinematik yang rendah, karena kandungan metil esternya tinggi dan kandungan trigliseridanya rendah. Semakin tinggi kandungan metil ester, maka semakin rendah kekentalan kinematiknya. Pengukuran kekentalan minyak hasil reaksi ini dapat membantu menentukan kondisi optimum reaksi tersebut. Hasil analisa menunjukkan bahwa kekentalan kinematik minyak hasil transesterifikasi berkisar antara 6,071 cSt - 43,184 cSt.

Analisa sidik ragam menunjukkan, bahwa perlakuan jumlah metanol (B) memberikan hasil yang sangat nyata terhadap kekentalan kinematik yang diukur, sedang perlakuan waktu (A) dan interaksi waktu dan jumlah metanol (A*B) tidak berpengaruh nyata terhadap kekentalan kinematik. Oleh karena itu, waktu reaksi 30 menit dipilih sebagai waktu optimum.

Hasil uji beda nyata jujur (Tukey) menunjukkan, bahwa perlakuan jumlah metanol 0% (B_0), 5% (B_1) dan 7,5% (B_2) masing-masing memberikan nilai kekentalan yang berbeda dengan seluruh perlakuan yang lain. Sedang perlakuan persentase metanol 10% (B_3), 15% (B_4) dan 20% (B_5) memberikan nilai kekentalan yang tidak berbeda, tetapi berbeda dengan seluruh perlakuan yang lain. Ketiga perlakuan tersebut memberikan nilai kekentalan yang rendah. Perlakuan B_3 dipilih sebagai kondisi optimum, karena memiliki konsumsi metanol yang paling rendah yaitu 10% ($\%$) (Lampiran 3).

Berbeda dengan reaksi esterifikasi yang berkatalis asam, reaksi transesterifikasi berkatalis basa, sehingga reaksi ini tidak melalui tahapan protonasi gugus karbonil pada asam lemak dan tidak melalui tahapan penukaran antara ion oksonium dengan alkohol. Sebagai gantinya, terjadi penukaran antara ion karboksilat dengan ion metoksida. Ion metoksida adalah suatu nukleofilik kuat yang berasal dari reaksi metanol dengan katalis basa. Ion ini dapat dengan mudah menukar gugus karbonil pada asam lemak. Karena alasan tersebut, reaksi transesterifikasi dapat berjalan dengan cepat. Selain itu reaksi ini juga bersifat eksoterm, sehingga panas yang dihasilkan dapat mempercepat reaksi.

Kecenderungan pengaruh penambahan metanol (B) terhadap penurunan kekentalan kinematik (Y) dapat digambarkan menggunakan regresi polinomial sebagai berikut (Gambar 3).

Gambar 3. Hubungan antara kekentalan kinematik dan konsentrasi metanol pada proses transesterifikasi

Figure 3. Relationship between methanol concentration and kinematic viscosity in transesterification process

Hasil analisa bilangan asam menunjukkan, bahwa metil ester hasil reaksi transesterifikasi memiliki nilai bilangan asam berkisar antara 0,35 mg - 0,76 mg KOH/g minyak. Sedang analisa sidik ragam menunjukkan, bahwa kedua perlakuan lama reaksi (A) dan jumlah metanol (B) tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan asam dari metil ester yang dihasilkan. Begitu juga interaksi keduanya (A*B) tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan asam dari metil ester yang dihasilkan. Dengan demikian, berbagai variasi lama reaksi, jumlah metanol dan interaksi keduanya menghasilkan bilangan asam yang dapat dikatakan sama, dengan nilai rata-rata 0,62 mg KOH/g minyak. Nilai tersebut sudah memenuhi kriteria standar biodisel yang mensyaratkan nilai bilangan asam tidak lebih dari 0,8 mg KOH/g minyak. Hal ini dapat dipahami, karena reaksi transesterifikasi tidak mereaksikan asam lemak bebas dengan metanol. Minyak yang digunakan untuk reaksi ini sudah terlebih dahulu diturunkan kandungan asam lemak bebasnya melalui reaksi esterifikasi, sehingga pada akhir reaksi transesterifikasi tidak terjadi penurunan kandungan asam lemak bebas.

Bilangan penyabunan metil ester hasil transesterifikasi adalah 206,76 mg KOH/g minyak. Dengan demikian, bilangan ester teoritis dari biodisel adalah 206,14 mg KOH/g minyak. Kerapatan dan kekentalan kinematik metil ester ini pada suhu 27°C berturut-turut adalah 0,873 g/ml dan 6,517 cSt. Nilai kerapatan dan kekentalan kinematik tersebut sudah memenuhi standar biodisel yaitu untuk kerapatan sebesar 0,87 g/ml - 0,90 g/ml (standar Eropa) dan kekentalan kinematik sebesar 0,6 cSt (standar ASTM PS-121).

Jika ditinjau dari bilangan asam, maka reaksi transesterifikasi tidak diperlukan, karena tanpa proses tersebut bilangan asam sudah cukup rendah. Tetapi proses transesterifikasi

tetap diperlukan untuk menurunkan kekentalan kinematik. Jumlah metanol yang diperlukan pada kondisi optimum yaitu nilai bilangan asam dan kekentalan yang memenuhi standar adalah pada konsentrasi metanol 10%. Total metanol yang diperlukan untuk menghasilkan kondisi proses *estrans* yang optimum adalah 20%, yaitu 10% untuk proses esterifikasi dan 10% untuk proses transesterifikasi.

D. Sifat Fisiko-Kimia Biodisel

Hasil analisis menggunakan metoda HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*) terhadap kadar dan jenis metil ester biodisel yang dihasilkan penelitian ini yaitu : metil stearat 0,26%, metil oleat 61,03%, metil palmitat 31,41% dan metil linoleat 2,12% atau jumlah seluruh metil ester sebesar 94,8%. Angka ini menunjukkan, bahwa konversi asam lemak menjadi metil ester sudah cukup tinggi. Beberapa jenis metil ester tidak terdeteksi oleh HPLC karena tidak dimilikinya larutan standar. Hasil analisis bilangan iod menunjukkan penurunan secara signifikan yaitu dari nilai sekitar 96 - 99 (pada minyak jarak) menjadi 8,4 - 8,7 pada biodisel. Hal tersebut menunjukkan ikatan rangkap minyak pada minyak jarak telah dijenjui gugus alkil, sehingga berdampak pada kestabilan metil ester terhadap ketengikan.

Pada Tabel 2 terlihat, parameter utama di dalam standar kualitas biodisel adalah kekentalan kinematik pada suhu 40°C, indeks setana, bilangan asam, kerapatan pada 15°C, titik awan, titik pijar, titik tuang, karbon residu *Conradson*, kadar metil ester, kadar abu oksidasi, kadar abu sulfat, kadar air dan sedimen serta nilai kalor.

Kekentalan kinematik biodisel adalah parameter utama yang ditentukan, karena tujuan utama transesterifikasi adalah untuk menurunkan kekentalan, selain tujuan lainnya yaitu memecah dan menghilangkan gliserida, menurunkan titik didih, titik tuang dan titik pijar minyak. Sehingga penggunaan minyak mentah (*crude*) dapat digantikan dengan metil ester (biodisel) hasil transesterifikasi minyak tersebut (Ambarita, 2001).

Biodisel yang dianalisa memiliki kekentalan kinematik yang agak tinggi yaitu 5,8 cSt. Meskipun demikian, nilai ini masih memenuhi standar ASTM PS-121 yaitu 1,9 cSt - 6,0 cSt. Menurut Mittelbach (1996), kekentalan dipengaruhi oleh kandungan trigliserida yang tidak bereaksi dan tergantung dari komposisi asam lemak penyusun metil ester.

Bilangan setana menunjukkan kualitas pembakaran biodisel. Nilai ini dapat diduga dengan cara perhitungan indeks setana menggunakan empat *variable* pada persamaan kerapatan dan pengukuran suhu. Indeks setana dari metil ester jarak pagar adalah 46,9. Nilai ini memenuhi standar ASTM PS-121 yang mensyaratkan biodisel harus memiliki bilangan setana minimal 40.

Metil ester jarak pagar memiliki bilangan asam sebesar 0,29 mg KOH/g metil ester. Nilai ini memenuhi standar ASTM PS-121 yang mensyaratkan biodisel memiliki bilangan asam maksimum 0,8 mg KOH/g biodisel. Tingginya bilangan asam pada biodisel dapat meningkatkan korosi mesin yang akhirnya dapat menyebabkan kerusakan mesin.

Kerapatan biodisel biasanya lebih tinggi dari petrodiesel. Hal ini terutama disebabkan oleh bobot molekul metil ester asam lemak lebih tinggi dibandingkan dengan bobot molekul petrodiesel. Kerapatan metil ester jarak pagar yang diukur pada suhu 15°C adalah 0,88 g/ml.

Titik awan digunakan untuk menentukan suhu saat kristal muncul dan mulai mengendap. Dengan komposisi asam lemak yang didominasi oleh asam lemak tak jenuh, metil ester jarak pagar memiliki titik awan yang relatif rendah yaitu 9°C. ASTM tidak menyebut batas minimumnya, tetapi negara tertentu sangat memperhatikan nilai ini berkaitan dengan kesulitan menghidupkan mesin pada musim dingin.

Metil ester jarak pagar memiliki titik pijar sebesar 191°C. Bahan bakar mesin disel dengan titik pijar > 100C (ASTM PS-121) masih memenuhi standar untuk biodisel. Titik pijar yang tinggi menunjukkan, bahwa metil ester jarak pagar lebih aman dan lebih mudah penanganannya.

Conradson karbon residu merupakan parameter penentu kualitas biodisel. Nilai ini berhubungan dengan kandungan gliserida, sabun, residu katalis, juga asam lemak bebas dan bahan lainnya. Metil ester jarak pagar memiliki nilai sebesar 0,025% (b/b). Nilai ini memenuhi standar biodisel yaitu tidak melebihi 0,05% (b/b).

Kadar abu oksidasi, abu sulfat, kadar air dan sedimen yang berturut-turut diukur dengan metode standar ASTM D-482, ASTM D-874 dan ASTM D-96 tidak terdeteksi atau memiliki nilai 0% (b/b) untuk masing masing parameter.

Metil ester jarak pagar memiliki nilai kalor sebesar 41,170 kJ/g. Nilai tersebut tergolong tinggi jika dibandingkan dengan nilai kalor biodisel dari minyak lain, meskipun masih lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai kalor petrodisel. Dengan nilai kalor yang tinggi maka metil ester jarak pagar dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar mesin disel.

Tabel 2. Hasil analisa sifat fisiko-kimia biodisel jarak pagar dan perbandingannya dengan standar

Table 2. Results of physico-chemistry analysis on *Jatropha curcas* L. biodiesel compared to the standard

Parameter (Parameters)	Satuan (Unit)	Metode analisa (Analysis methode)	Standar (Standard) ASTM PS-121	Biodisel jarak pagar (<i>Jatropha curcas</i> biodiesel)
Indeks setana (Setana index)		ASTM D-976	Min. 40	46,9
Kekentalan kinematik 40°C (Kinematic viscosity)	cSt	ASTM D-445	1,9 - 6,0	5,863
Kerapatan (Density) 15°C	mg/ml	Standar Eropa*	0,87 - 0,90	0,8848
Bilangan asam (Acid value)	mg KOH/ g minyak	ASTM D-664	Maks. 0,80	0,298
Kadar abu (Ash conc.)	% bobot	ASTM D-482	-	0
Kadar sulfat (Sulfate conc.)	% bobot	ASTM D-874	Maks. 0,02	0
Kadar air dan sedimen (Moisture conc. And sediment)	% volume	ASTM D-96	Maks. 0,050	0
Karbon residu Conradson (Conradson carbon residue)	% bobot	ASTM D-189	Maks. 0,05	0,025
Nilai kalor (Calorific value)	KJ/g	ASTM D-240	-	41.170
Kandungan sulfur (Sulfur content)	% bobot	ASTM D-1551	Maks. 0,05	0,0046
Titik tuang (Pour point)	°C	ASTM D-97	-	0
Titik awan (Cloud point)	°C	ASTM D-2500	-	9
Titik nyala (Flash point)	°C	ASTM D-92	Min. 100	191

Sumber (Source): Mittelbach (2001)

Keterangan (Remark): * = Tidak termasuk standar (doesn't belong to standard) ASTM PS-121

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa biji jarak pagar memiliki rendemen minyak sebesar 47,69% yang diperoleh dengan mengekstrak secara mekanis menggunakan tekanan maksimum 20 ton pada suhu 60°C sebanyak dua kali pengempaan.
2. Kondisi optimum untuk reaksi esterifikasi diperoleh pada kombinasi perlakuan A₁B₂C₂ yaitu dengan jumlah katalis HCl sebanyak 1% (%), waktu reaksi selama 120 menit dan jumlah metanol sebanyak 10% (%), sedang kondisi optimum reaksi transesterifikasi diperoleh pada kombinasi perlakuan A₁B₃ yaitu dengan waktu reaksi 30 menit dan jumlah metanol sebanyak 10% (%).
3. Biodisel yang dihasilkan dari proses *estrans* memiliki nilai bilangan asam rata-rata 0,62 mg KOH/g minyak. Nilai tersebut memenuhi standar biodisel (ASTM PS-121) yaitu tidak lebih dari 0,80 mg KOH/g minyak. Demikian pula halnya dengan kerapatan sebesar 0,88 g/ml sesuai dengan standar (0,87 g/ml 0,90 g/ml) dan kekentalan kinematik 5,86 cSt sesuai dengan standar (1,9 cSt 6,0 cSt).
4. Secara umum hasil analisis biodisel jarak pagar memenuhi spesifikasi ASTM PS-121, sehingga secara teknis memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan bakar otomotif.

DAFTAR PUSTAKA

- Darnoko, T. Herawan & P. Guritno. 2001. Teknologi produksi biodisel dan prospek pengembangannya di Indonesia. Warta PPKS 9 (1): 17 - 27. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
- Freedman, B., E.H. Pryde & T.L. Mounts. 1984. Variable affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. J. Am. Oil. Chem. Soc. 61: 1638 - 1643.
- Gübitz, G.M., M. Mittelbach & M. Trabi. 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. Biores Technology (67): 73 - 82.
- Heyne, K. 1987. Tumbuhan Berguna Indonesia. Jilid III. Terjemahan Badan Litbang Kehutanan. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Herawan, T. & S. Sadi. 1997. Sifat fisiko-kimia dan beberapa jenis alkil-ester asam lemak sawit dan kemungkinan aplikasinya. Warta PPKS Vol. 5 (3) : 131 - 136. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Medan.
- Hsu, C.S. 2000. Diesel Fuels Analysis. Encyclopedia of Analytical Chemistry: Application, Theory and Instrumentation Vol. 8 : 6613 - 6622. John Willey and Sons Ltd., Baffinslane Chicester.

- Lee, Kt., T.A. Foglia & K.S. Chang. 2002. Production of alkyl ester as biodiesel from fractioned lard and restaurant grease. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* Vol. 79 (2) : 191 - 195.
- Mittelbach, M. 2001. Experiences in small scale biodiesel production dan usage in Austria. *Di dalam Enhancing Biodiesel Development and Use. Proceedings of the International Biodiesel Workshop*, 2 - 4 Oktober 2001. Ditjen Perkebunan. Deptan. di Medan.
- Samiarso, L. 2001. Indonesian Policy on Renewable Energy Development. *In Enhancing Biodiesel Development and Use. Proceedings of the International Biodiesel Workshop*, 24 Oktober 2001. Ditjen Perkebunan. Deptan. di Medan.
- Soerawidjaja, T. H. 2002. Menjadikan biodisel sebagai bagian dari liquor fuel mix di Indonesia. Materi Presentasi pada Rapat Teknis Penelitian Energi ke 311. Pusat Penelitian Material dan Energi. ITB. Bandung.
- Sonntag, N.O.V. 1982. Fat Splitting, Esterification, and Interesterification. *In Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Vol. 2, 4th Ed. John Wiley & Sons, New York.
- Sudradjat, R. & D. Setiawan. 2003. Teknologi pembuatan biodisel dari minyak biji jarak pagar. Laporan Hasil Penelitian. Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan. Bogor. Tidak diterbitkan.
- Sudradjat, R. & D. Setiawan. 2004. Teknologi pengolahan biodisel dari biji jarak pagar. Laporan Hasil Penelitian. Pusat Litbang Teknologi Hasil Hutan. Bogor. Tidak diterbitkan.

Lampiran 1. Rendemen minyak jarak pagar dengan pengempaan mekanik secara manual

Appendix 1. Yield of curcas oil with manual mechanic press

Ulangan (<i>Repl- ication</i>)	Berat biji (<i>Seed weight</i>) g	Bagian biji (<i>Seed portion</i>) Berat (<i>Weight</i>), g/ Rendemen (<i>Yield</i>), %		Berat daging biji kering (<i>Weight of dry meat seed</i>), g/ Kadar air (<i>Moisture conc.</i>), %	Beban penge- presan (<i>Pressing load</i>) g	Berat minyak (<i>Weight of oil</i>) g	Rendemen minyak (<i>Yield of oil</i>) %
		Kulit biji (<i>Seed skin</i>) g	Daging biji (<i>Seed meat</i>) g				
1	1430	630	800	760	249	70	28,11
		(44,06%)	(55,94%)	(5,00%)	255	99	38,82
					256	103	40,23
2	2380	1545	835	810	256	90	35,16
		(64,92%)	(35,08%)	(2,99%)	281	106	37,72
					273	94	34,43
3	2444	1669	775	754	248	99	39,92
		(68,29%)	(31,71%)	(2,78%)	250	100	40,00
					256	98	38,28
4	2652	1744	908	869	292	121	41,44
		(65,76%)	(34,24%)	(4,30%)	285	122	42,81
					292	116	39,73
5	2505	1620	885	862	279	98	35,12
		(64,67%)	(35,33%)	(2,60%)	281	103	36,65
					302	106	35,10
6	2436	1615	821	801	263	90	34,22
		(33,30%)	(33,70%)	(2,44%)	265	93	35,09
					273	90	32,97
7	2321	1493	828	813	269	101	37,55
		(64,33%)	(35,67%)	(1,81%)	268	107	39,93
					276	95	34,42
8	2084	1312	772	759	250	96	38,40
		(62,96%)	(37,04%)	(1,68%)	252	84	33,33
					257	90	35,02
9	2287	1422	865	837	279	109	39,07
		(62,18%)	(37,82%)	(3,24%)	280	108	38,57
					278	105	37,77
10	2671	1861	810	800	266	69	25,94
		(69,68%)	(30,32%)	(1,23%)	264	76	28,79
					270	76	28,15
					Rata-rata (<i>Average</i>)		36,09

Lampiran 2. Bilangan asam hasil reaksi esterifikasi dan sidik ragamnya
Appendix 2. Acid value of esterification and its ANOVA (analysis of variance)

Perlakuan (<i>Treatments</i>)			Sidik ragam (<i>ANOVA</i>)	
			F-hitung (<i>F-calc.</i>)	Peluang (<i>Probability</i>)
Sumber (<i>Source</i>)				
A. Konsentrasi HC (<i>HCl concentration</i>)			0,84 tn	0,3698
B. Lama reaksi (<i>Reaction time</i>)			35,68 **	0,0001
C. Konsentrasi metanol (<i>Methanol concentration</i>)			2439,39 **	0,0001
D. Interaksi (<i>Interaction</i>) A*B*C			2439,39 **	0,0001
			Uji Duncan (<i>Duncan test</i>)	
Perlakuan (<i>Treatments</i>)			Rata-rata (<i>Average</i>)	Skor (<i>Score</i>)
A	B	C		
A ₁	B ₁	C ₀	8,85 a	6,0
		C ₁	1,60 cb	4,5
		C ₂	1,42 cde	3,0
		C ₃	1,28 cfde	2,5
		C ₄	0,76 fe	1,5
	B ₂	C ₀	8,01 a	6,0
		C ₁	1,47 fe	3,5
		C ₂	0,72 cfde	1,5
		C ₃	0,62 f	1,0
		C ₄	0,76 fe	1,5
A ₂	B ₁	C ₀	7,91 a	6,0
		C ₁	2,24 cfde	4,5
		C ₂	1,59 cb	4,5
		C ₃	0,94 cfde	2,5
		C ₄	0,82 fe	2,0
	B ₂	C ₀	7,81 a	6,0
		C ₁	1,29 cfde	2,5
		C ₂	1,00 cfde	2,5
		C ₃	8,95 cfde	2,5
		C ₄	0,73 fe	1,5

Keterangan (*Remarks*): A = Konsentrasi (*Conc.*) HCl : A₁ = 1% ; A₂ = 2% ; B = Lama reaksi (*Reaction time*) ; B₁ = 60 menit ; B₂ = 120 menit. C = Konsentrasi (*Conc.*) Metanol ; C₀ = 0% ; C₁ = 5% ; C₂ = 10% ; C₃ = 15% ; C₄ = 20%. Tn = Tidak nyata (*Not significant*) ; ** = Nyata pada taraf 99% (*Significant at 99% level*). Bilangan asam dengan nilai skor yang sama pada baris horisontal tak saling berbeda nyata (*Acid values followed horizontally with the same score are not significantly different from each other*) 7 > 6 > 5 > 4 > 3 > 2 > 1

Lampiran 3. Nilai kerapatan, kekentalan kinematik dan analisis sidik ragamnya**Appendix 3. Density, kinematic viscosity and each of their ANOVA (analysis of variance)**

Perlakuan (<i>Treatments</i>)		Sidik ragam (<i>ANOVA</i>)	
		Kerapatan (<i>Density</i>)	Kekentalan kinematik (<i>Kinematic viscosity</i>)
Sumber (<i>Source</i>)			
A. Lama reaksi (<i>Reaction time</i>)		0,21 tn (Pr. 0,657)	0,00 tn (Pr. 0,9477)
B. Konsentrasi metanol (<i>Methanol concentration</i>)		179,1" (Pr. 0,0001)	693,5" (Pr. 0,0001)
C. Interaksi (<i>Interaction</i>) A*B*C		1,24 tn (Pr. 0,3495)	1,12 tn (Pr. 0,4018)
Uji Duncan (<i>Duncan test</i>)			
	Perlakuan (<i>Treatments</i>)	Kerapat (<i>Density</i>)	Kekentalan kinematik (<i>Kinematic viscosity</i>)
	B	Rata-rata (<i>Average</i>)	Grup Tukey (<i>Tukey group</i>)
	B0	0,9074	A
	B1	0,8935	B
	B2	0,8840	C
	B3	0,8755	D
	B4	0,8765	D
	B5	0,8732	D

Keterangan (*Remarks*): A = Lama reaksi (*Reaction time*) : A₁ = 30 menit ; A₂ = 60 menit. B = Konsentrasi (*Conc.*) Metanol ; B₁ = 0% ; B₂ = 5% ; B₃ = 7,5% ; B₄ = 15% ; B₅ = 20% ; T_n = Tidak nyata (*Not significant*) ; ** = Nyata pada taraf 99% (*Significant at 99% level*). Kekentalan yang secara horisontal diikuti huruf yang sama tak saling berbeda nyata (*Kinematic viscosities followed horizontally with the same letter are not significantly different*). A > B > C > D Pr = Peluang (*Probability*)