

PENGEMBANGAN BAHAN BAKAR HIJAU UNTUK MESIN DIESEL

P.Y. Topo Supriyadi¹⁾, Korinus N. Waimbo²⁾,
Renaningih Setjo³⁾

Staf dan Pengajar Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Pelita Harapan¹⁾

Mahasiswa Jurusan Fisika Universitas Pelita Harapan²⁾

Tim Peneliti PATIR-BATAN Pasar Jumat³⁾

Jl. M.H. Thamrin Boulevard, Tangerang 15811, Banten^{1,2)}

Telepon (021) 5460901¹⁾

E-mail : dairandex@yahoo.co.id³⁾

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengembangan ester nabati dengan bahan baku minyak kelapa sawit. Pengembangan dilakukan dengan menambahkan aditif. Sebagai aditif I adalah hidrokarbon hasil likuifikasi batubara dalam pelarut dimetil keton dan sebagai aditif II adalah gas bio dalam pelarut dimetil keton. Komposisi utama ester nabati yang diuji dengan Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS) adalah metil palmilat (27,36%), metil oleat (29,56%) dan metil linoleat (9,70%). Pengujian viskositas, titik nyala dan nilai kalor dilakukan berdasarkan standar ASTM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa viskositas ester nabati 8,080 cSt dan setelah ditambahkan aditif I menjadi 3,500 cSt dan ditambahkan aditif II menjadi 4,845 cSt. Sedangkan titik nyala ester nabati 191°C dan setelah ditambah aditif I menjadi 27,5°C dan ditambahkan aditif II menjadi di bawah 0°C. Nilai kalor ester nabati 39,560 MJ/kg dan setelah ditambah aditif I menjadi 36,560 MJ/kg dan dengan aditif II menjadi 37,520 MJ/kg. Pengujian emisi CO₂ dilakukan menggunakan mesin diesel (genset) YANMAR. Bila dibandingkan terhadap solar yang memiliki emisi CO₂ 2,272% diperoleh emisi CO₂ berkurang 83,15% dengan penambahan aditif I dan berkurang 85,83% dengan penambahan aditif II. Dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan senyawa aditif, kualitas bahan bakar menjadi lebih baik dalam menunjang kinerja mesin diesel dan memenuhi persyaratan SNI 04-7182-2006 untuk bahan bakar diesel.

Kata Kunci : Metil ester, gas bio, viskositas, titik nyala, nilai kalor.

PENDAHULUAN

Mesin diesel banyak dipakai sebagai alat penggerak otomotif maupun komponen dalam suatu industri, karena keunggulan dalam efisiensi termal maupun fleksibilitasnya terhadap bahan bakar. Saat ini bahan bakar utama mesin diesel adalah solar, namun bahan bakar solar tidak ramah terhadap lingkungan. Sehingga perlu dilakukan penelitian tentang bahan bakar alternatif mesin diesel yang ramah terhadap lingkungan, ketersediaan bahan bakunya melimpah, dan lebih ekonomis.

Perkembangan IPTEK yang signifikan terhadap mesin diesel dan bahan bakar mesin diesel memberikan jalan keluar terhadap permasalahan di atas yaitu lahirnya bahan bakar mesin diesel yang berasal dari bahan-bahan nabati atau bahan bakar hijau yaitu ester nabati. Ester nabati merupakan bahan bakar alternatif mesin diesel yang berasal dari minyak nabati yang terdiri atas mono-alkil ester dari rantai panjang asam lemak yang diperoleh melalui reaksi kimia.

Namun, bila dibandingkan terhadap solar, nilai viskositas dan titik nyala ester nabati masih lebih tinggi

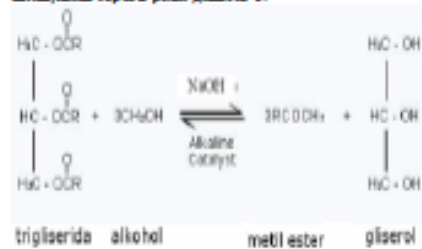
sehingga ester nabati belum dapat digunakan sebagai bahan bakar murni mesin diesel melainkan dicampur dalam rasio tertentu dengan solar atau minyak diesel. Walaupun demikian tindakan pencampuran ester nabati dengan solar tetap menimbulkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang akan menipis cadangannya.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian lebih lanjut dalam rangka mengembangkan ester nabati sebagai bahan bakar utama mesin diesel. Pengembangan yang dilakukan adalah dengan menambahkan aditif pada bahan bakar ester nabati guna menurunkan nilai viskositas dan titik nyala dari ester nabati. Bahan aditif yang dipilih adalah senyawa hidrokarbon yang mempunyai viskositas dan titik nyala cukup rendah. Nilai kalor dan uji emisi CO₂ pun akan diukur untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif pada ester nabati. Diharapkan penelitian ini menghasilkan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang berbasis bahan-bahan hayati yang ramah lingkungan, mempunyai viskositas dan titik nyala setara dengan bahan bakar diesel konvensional serta ramah lingkungan dan terbarukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Proses Pembuatan Ester Nabati

Minyak nabati yang digunakan untuk pembuatan ester nabati berasal dari minyak kelapa sawit (bimoli). Ester nabati dapat berupa metil ester ataupun etil ester tergantung dari jenis alkohol yang digunakan. Tetapi yang paling sering diproduksi adalah metil ester karena metanol mudah didapat dan tidak mahal. Reaksi kimia esterifikasi yang terjadi pada pembuatan ester nabati ditunjukkan seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Reaksi pembuatan ester nabati (esterifikasi)

Proses pembuatan ester nabati dilakukan dengan cara katalis dan minyak sawit dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian dialirkan metanol hasil destilasi ke dalam reaktor. Katalis yang digunakan adalah natrium hidroksida (kautik soda). Campuran bereaksi pada temperatur 60-70°C selama 120 menit dengan pengadukan yang kuat. Setelah reaksi selesai akan terbentuk dua produk utama, yaitu gliserol dan metil ester. Karena adanya perbedaan densitas (gliserol 1198,41 kg/m³ dan metil ester 880,83 kg/m³) maka keduanya dapat terpisah secara gravitasi. Gliserol terbentuk pada lapisan bawah sementara metil ester pada lapisan atas. Gliserol kemudian dipisahkan dari metil ester. Metil ester selanjutnya dicuci dengan air hangat untuk membuang residu katalis dan sabun, lalu dikeringkan dan dialirkan ke tempat penyimpanan.

Bahan Aditif

Bahan aditif yang digunakan didasarkan pada sifat polaritas dimetil keton (CH₃COCH₃) yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pelarut yang dapat melarutkan berbagai senyawa hidrokarbon termasuk metana. Sebagai bahan aditif I adalah hidrokarbon terlarut hasil klasifikasi batubara dalam pelarut dimetil keton. Sebagai bahan aditif II adalah gas bio terlarut di dalam pelarut dimetil keton.

Proses Pencampuran Ester Nabati dan Aditif

Proses pencampuran ester nabati dan bahan aditif dilakukan dengan teknik pencampuran secara langsung karena kedua bahan bersifat cair. Rasio pencampuran adalah sebanyak 4 bagian ester nabati dicampur dengan 1 bagian bahan aditif (4:1).

Metode Pengukuran

1. Penentuan komposisi senyawa menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa atau *Gas Chromatography - Mass Spectroscopy (GCMS)* di LIPI Bandung.
2. Pengukuran viskositas menggunakan viskosimeter kinematik otomatis di LEMIGAS berdasarkan metode uji ASTM D.445.
3. Pengukuran titik nyala menggunakan *Cleveland Open Cup Tester* di LEMIGAS berdasarkan metode uji ASTM D.92.
4. Pengukuran nilai kalor menggunakan kalorimeter bom di LEMIGAS berdasarkan metode uji D.240.
5. Pengukuran Emisi CO₂ dilakukan dengan cara melarutkan gas CO₂ dalam larutan kapur (Ca(OH)₂) yang menghasilkan endapan batu kapur (CaCO₃). Endapan CaCO₃ kemudian diturunkan dengan cara penguapan setelah itu kemudian ditimbang dan dihitung kadar CO₂ secara stoikiometri.

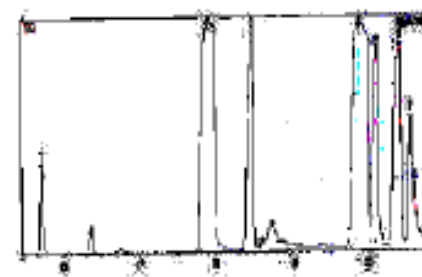
HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia

Data hasil pengukuran komposisi kimia menggunakan GC-MS untuk masing-masing sampel sebagai berikut :

Komposisi Kimia Ester Kelapa Sawit

Hasil pengukuran GC-MS untuk ester kelapa sawit berupa grafik *Total Ion Chromatogram (TIC)* ditunjukkan dalam gambar 2. Komposisi kimia senyawa ester kelapa sawit ditunjukkan dalam tabel 1.



Gambar 2 Grafik TIC ester kelapa sawit

Tabel 1 Komposisi senyawa ester kelapa sawit

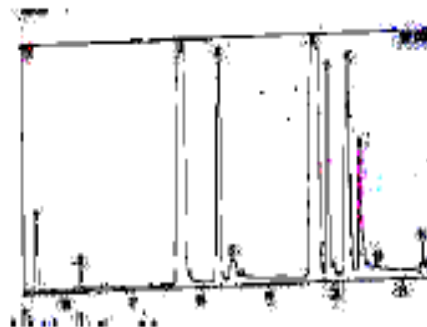
Puncak	Berat molekul	Nama Senyawa	% relatif dim Larutan
1	242	Metil Miristat	1.96
2	270	Metil Palmitat	27.36
3	284	Etil Palmitat	11.88
4	296	Metil Oleat	29.56
5	294	Metil Linoleat	9.70
6	310	Etil Oleat	13.25
7	308	Etil Linoleat	4.07
8	282	Asam Oleat	2.22

Hasil pengukuran GC-MS menunjukkan komposisi utama ester kelapa sawit secara berurutan adalah metil oleat (29,56%) yang muncul pada puncak keempat, metil palmitat (27,36%) muncul pada puncak kedua, metil linoleat (9,70%) pada puncak kelima dan metil miristat (1,96%) pada puncak kesatu. Beberapa senyawa etil ester yaitu etil palmitat, etil oleat dan etil linoleat diperoleh juga pada hasil pengukuran. Etil-etil ester ini dapat terbentuk jika asam lemak direaksikan dengan etanol. Sehingga ada kemungkinan metanol yang digunakan tidak 100% murni metanol tetapi terdapat campuran etanol. Juga masih terdapat asam oleat (2,22%) yang menunjukkan minyak sawit tidak terkonversi 100% menjadi ester.

Komposisi Kimia Ester Kelapa Sawit + Aditif I

Hasil pengukuran GC-MS untuk ester kelapa sawit berupa grafik *Total Ion Chromatogram (TIC)* ditunjukkan dalam gambar 3. Komposisi kimia senyawa ester kelapa sawit plus aditif I ditunjukkan dalam tabel 2.

Dari hasil pencampuran ester kelapa sawit dan aditif I tidak terjadi reaksi pembentukan senyawa baru namun terjadi reaksi pengenceran dimana konsentrasi senyawa dalam larutan berkurang seperti ditunjukkan pada tabel 2 dan juga terlihat pada grafik TIC dimana terjadi perubahan hiasan puncak-puncak grafik yang semakin menyempit. Reaksi pengenceran disebabkan oleh dimetil keton karena fungsinya sebagai pelarut. Selain perubahan konsentrasi senyawa juga akibat reaksi pengenceran beberapa senyawa yang tidak terdeteksi pada pengukuran GC-MS ester kelapa sawit murni menjadi terdeteksi yaitu metil laurat, etil miristat, asam palmitat dan metil arakat.



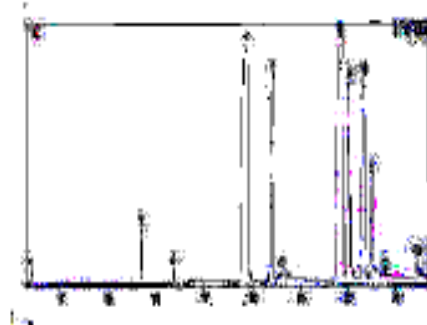
Gambar 3 Grafik TIC ester kelapa sawit+aditif I

Tabel 2 Komposisi senyawa ester kelapa sawit+aditif I

Puncak	Berat Molekul	Nama Senyawa	% Relatif dim Larutan
1	242	Metil Miristat	1.65
2	256	Etil Miristat	0.49
3	270	Metil Palmitat	25.67
4	284	Etil Palmitat	11.37
5	256	Asam Palmitat	1.69
6	296	Metil Oleat	28.86
7	294	Metil Linoleat	9.51
8	310	Etil Oleat	13.62
9	308	Etil Linoleat	5.70
10	282	Asam Oleat	0.68
11	326	Metil Arakat	0.75

Ester Kelapa Sawit + Aditif II

Hasil pengukuran GC-MS untuk ester kelapa sawit berupa grafik *Total Ion Chromatogram (TIC)* ditunjukkan dalam gambar 4. Komposisi kimia senyawa ester kelapa sawit plus aditif II ditunjukkan dalam tabel 3. Pada hasil ini juga terjadi reaksi pengenceran karena adanya pelarut dimetil keton. Reaksi pengenceran ditunjukkan oleh perubahan konsentrasi senyawa dalam larutan. Hasil pencampuran juga menyebabkan terdeteksinya senyawa baru yaitu etil miristat dan metil arakat.



Gambar 4 Grafik TIC ester kelapa sawit + aditif II

Tabel 3 Komposisi senyawa ester kelapa sawit+aditif II

Puncak	Berat Molekul	Nama Senyawa	% Relatif dlm Larutan
1	214	Metil Laurat	0.36
2	242	Metil Miristat	1.58
3	256	Etil Miristat	0.47
4	270	Metil Palmitat	26.21
5	284	Etil Palmitat	11.25
6	256	Asam Palmitat	0.75
7	296	Metil Oleat	30.45
8	294	Metil Linoleat	9.64
9	310	Etil Oleat	13.59
10	308	Etil Linoleat	4.67
11	382	Asam Oleat	0.45
12	296	Metil Araklat	0.59

Karakteristik Fisika

Hasil pengukuran parameter fisika yang meliputi viskositas kinematik, indeks viskositas, titik nyala dan nilai kalor untuk sampel ester kelapa sawit murni, ester kelapa sawit + aditif I dan ester kelapa sawit + aditif II ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengukuran parameter fisika

Parameter Uji	Satuan	Hasil		
		Ester kelapa sawit	Ester kelapa sawit + Aditif I	Ester kelapa sawit + Aditif II
Viskositas Kinematik 40°C	cSt	8.080	4,845	3,500
Viskositas Kinematik 100°C	cSt	2.605	2,73	*)
Indeks Viskositas		176	772	*)
Titik Nyala	°C	191	Below 0	27,5
Nilai Kalor	kJ/kg	39,560	37,520	36,805

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa viskositas ester kelapa sawit mengalami penurunan ketika ditambahkan aditif I maupun aditif II yaitu mula-mula 8,080 cSt menjadi 4,845 cSt setelah penambahan aditif I dan 3,500 cSt setelah penambahan aditif II. Dilihat dari komposisi kimia aditif, aditif I mengandung hidrokarbon yang memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi kimia aditif II yang adalah gas-gas bio sehingga larutan aditif I memiliki viskositas yang lebih rendah dibanding aditif II. Perubahan ini juga merupakan pengaruh pelarut dimetil keton yang dapat mengencerkan ester kelapa sawit. Nilai viskositas juga berkurang dengan peningkatan suhu. Pada suhu 100°C terjadi perubahan viskositas yang signifikan untuk setiap sampel. Pemilihan suhu 40°C dan 100°C dipilih berdasarkan metode ASTM

D.2270 untuk perhitungan indeks viskositas. Indeks viskositas menyatakan ukuran kemampuan perubahan viskositas cairan terhadap perubahan temperatur. Semakin tinggi indeks viskositas semakin kecil perubahan viskositas terhadap perubahan temperatur. Hasil menunjukkan bahwa indeks viskositas ester kelapa sawit meningkat sangat tinggi setelah ditambahkan aditif I yaitu dari 172 untuk ester kelapa sawit menjadi 772. Indeks viskositas ester kelapa sawit + aditif I tidak dapat diukur karena pada suhu 100°C campuran sangat encer sehingga alat ukur tidak dapat mengukur viskositas pada tingkat keenceran yang sangat tinggi. Dari hasil ini juga dapat diduga bahwa indeks viskositas ester kelapa sawit + aditif I sangat rendah.

Hasil pengukuran titik nyala menunjukkan perubahan yang drastis ketika ester kelapa sawit dicampur dengan bahan aditif yaitu dari 191°C menjadi below 0°C setelah dicampur dengan aditif I dan menjadi 27°C setelah dicampur dengan aditif II. Sangat rendahnya titik nyala ester kelapa sawit + aditif bergantung pada sifat pencampuran (homogen atau heterogen). Dari sangat rendahnya titik nyala bahan bakar ester kelapa sawit setelah dicampur kedua aditif dapat diketahui bahwa sifat pencampuran tidak homogen sehingga titik nyala yang tertera merupakan titik nyala aditif yang tidak bercampur sepenuhnya dengan ester kelapa sawit. Hasil pengukuran nilai kalor juga menunjukkan terjadi penurunan setelah penambahan aditif yaitu dari 39,650 MJ/kg untuk ester kelapa sawit menjadi 36,805 MJ/kg untuk ester kelapa sawit + aditif I dan 37,520 MJ/kg setelah penambahan aditif II. Hal ini terjadi karena penurunan konsentrasi senyawa ester kelapa sawit dan atom densitas setelah ditambahkan aditif.

Hasil pengukuran parameter fisika yang didapat dibandingkan terhadap solar dan disesuaikan berdasarkan standar SNI untuk bahan bakar diesel. Tabel 6, menunjukkan viskositas, titik nyala dan nilai kalor bahan bakar yang diperoleh didasarkan pada SNI 04-7182-2006 (BSN, 2006) untuk ester nabati dan dibandingkan terhadap solar.

Tabel 6. Parameter fisika ester nabati didasarkan pada SNI 04-7182-2006 dan perbandingannya terhadap solar

Parameter	SNI Ester Nabati	Solar
Viskositas Kinematik 40°C (cSt)	2,3 – 6,0	1,6 – 5,8
Titik Nyala (°C)	Min. 100	65,56
Nilai Kalor (MJ/kg)	-	41,84

Dari hasil yang didapat viskositas ester kelapa sawit masih berada di luar rentang yang disarankan SNI 04-7182-2006 hal ini disebabkan karena masih terdapat impuritas yaitu asam lemak yang tidak terkonversi menjadi metil ester. Namun untuk titik nyala telah sesuai SNI 04-7182-2006. Nilai kalor lebih tinggi solar dibandingkan dengan ester kelapa sawit. Penambahan aditif memberikan hasil yang baik karena terjadi penurunan viskositas bahan bakar hingga setara

dengan solar. Penambahan aditif I memberikan penurunan viskositas 40% sedangkan penambahan aditif II memberikan penurunan viskositas 57%. Kemungkilan yang diperoleh selain, viskositas yang rendah adalah titik nyala yang cukup rendah di bawah solar. Penambahan aditif I memberikan penurunan titik nyala > 100% sedangkan penambahan aditif II memberikan penurunan titik nyala 85%. Rendahnya titik nyala akan meningkatkan daya bakar atau flambabilitas bahan bakar yang dapat mempengaruhi laju pembakaran dalam mesin bakar. Sehingga semakin cepat laju pembakaran akan meningkatkan tekanan dan temperatur dalam ruang bakar yang selanjutnya dapat menghasilkan daya kerja yang lebih tinggi pada mesin. Nilai kalor yang dihasilkan masih lebih rendah di bawah solar. Dibanding dengan solar, nilai kalor ester kelapa sawit berkurang sebesar 5,45%, nilai kalor ester kelapa sawit + aditif I berkurang sebesar 10,33% dan nilai kalor ester kelapa sawit + aditif II berkurang sebesar 12,03%.

Pengukuran Emisi CO₂

Hasil pengukuran emisi CO₂ disajikan dalam tabel 7.

Tabel 7. Emisi CO₂ pada bahan bakar

Sampel	ρ_s	Lama Kerja (s)	CaCO ₃ (gr)	CO ₂ (gr)	% CO ₂
Solar	0,83	622	3,8292	1,3203	2,272
Biosolar	0,84	677	0,6168	0,2712	0,461
Ester sawit	0,87	610	0,404	0,1776	0,292
Ester sawit + aditif I	0,86	560	0,525	0,2308	0,383
Ester sawit + aditif II	0,86	585	0,441	0,1939	0,322

ρ_s : massa jenis sampel ; Volume sampel 70 ml;
Volume air kapur 300 ml

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan dari pembakaran solar (2,272%) dan biosolar (0,461%) masih lebih tinggi dibanding dengan pembakaran bahan bakar ester nabati tanpa maupun dengan aditif. Dibandingkan dengan solar berturut-turut terjadi penurunan emisi CO₂ sebesar 79,71% pada biosolar, 87,15 % pada ester kelapa sawit, 83,14 % pada ester kelapa sawit + aditif I dan 85,83% pada ester kelapa sawit + aditif II.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Penambahan aditif mengakibatkan perubahan konsentrasi komposisi kimia bahan bakar. Secara

umum konsentrasi komposisi kimia berkurang dengan penambahan aditif I maupun aditif II sehingga menunjukkan adanya reaksi pengenceran oleh aditif.

2. Hasil analisis menunjukkan penambahan aditif I memberikan penurunan viskositas dan titik nyala. Penambahan aditif I pada ester kelapa sawit memberikan penurunan viskositas 40%, penurunan titik nyala > 100% dan penurunan nilai kalor 10,33% terhadap solar. Penambahan aditif II memberikan penurunan viskositas 57%, titik nyala 85,5%, dan nilai kalor 12,03%. Hasil viskositas sesuai dengan standar SNI untuk bahan bakar diesel.
3. Dengan hasil viskositas dan titik nyala yang rendah dapat meningkatkan kualitas penyalaan bahan bakar dalam mesin diesel sehingga dalam penggunaannya bahan bakar ini dapat diaplikasikan secara langsung tanpa perlu pencampuran dengan solar.
4. Uji emisi CO₂ menunjukkan bahwa dibanding terhadap solar terjadi pengurangan kandungan CO₂ sebesar 82,05% untuk bahan bakar ester kelapa sawit + aditif I dan 85,83% untuk bahan bakar ester kelapa sawit + aditif II. Sehingga bahan bakar yang diperoleh lebih ramah terhadap lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eastop dan McConkey. (1993). *Applied Thermodynamics for Engineering Technologists*. 5th Ed. Pearson Education Limited.
- [2] Wark, Kenneth and Richards, Donald E. (199). *Thermodynamics*, 6th Ed, McGraw-Hill.
- [3] Georing, C.E, A.W Schwab, M.J Daugherty E.H. Pryde and Heakin A. J. (1982). "Fuel Properties of Eleven Vegetables Oils", *Transactions of the American Society of Agriculture Engineering*.
- [4] Lide, R. David, et al. (2004). *Handbook of Chemistry and Physics*. 84th ed. Florida: CRC Press.
- [5] Arismamandar, Wiranto dan Koichi Tsuda. (1993). *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [6] ASTM. Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.02. (2005). United State: Barr Harbor Drive.
- [7] BSN, "SNI Biodiesel". BSN Online. Diakses 11 Maret 2008 dari http://www.bsn.or.id/tni/tni_detail.php?tni_id=5591.
- [8] Bureau of Energy Efficiency. *Energy Efficiency in Thermal Utilities*. Chapter 1. (2004)
- [9] Cheric, "Pure Component Properties". Diakses 03 Februari 2008 dari <http://www.cheric.org/research/kdb/hcprop/cmprtc.h.php>.

- [10] Day, R. A. Jr and A. L. Underwood. (1986). *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi Ke-5. Jakarta: Penebit Erlanga.
- [11] Ditjen Migas, Direktorat Eksplorasi & Produksi Proyek Survey Kebutuhan Bahan Bakar Minyak. "Laporan Hasil Pembahasan & Pengaturan Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Indonesia. Proyek : 1/S/BEM/80.
- [12] Gerpen Van J., B Shank, R Pruszko, D. Clements and G Knothe. (2004). *Biodiesel Analytical Method August 2002- January 2004*. NREL/SR-510-36240.
- [13] [13] Lapp, H.M and E.E. Robertson. (1981). *Biogas Production from Animal Manure*. Vol. 1. Florida: CRC Press.
- [14] Moynell, P. J. (1976). *Methane : Planning a Digester*. Great Britain: Prism Press.
- [15] PESN, "Acetone In Fuel Said to Increase Mileage". Diskus: 3 Februari 2008 dari http://www.pureenergy.com/news/2005/03/17/6900069_Acetone.
- [16] Tirtsoo, EN (1979). *Natural Gas Fuel For Future? A World Survey*. 3rd ed. Houston Texas: Gulf Publishing Company.
- [17] Warsowiboho dan Gandhi Harahap (1984). *Bahan Bakar, Pelumas, Pelumasan dan Servis*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [18] Zemanaky, W. Mark and Richard H. Dittman. (1985). *Kalor dan Termodinamika*. Edisi Ke-6. Bandung: ITB Bandung.