

Kecenderungan Emisi Karbon Monoksida oleh Mesin yang Berbahan Bakar Biodisel dari Minyak Goreng Bekas terhadap Minyak Solar dari Fosil

Masri Wendy Zulfikar, Misbah Kudin
BTMP-BPPT, PUSPIPTEK, Serpong Tangerang
Tlp. 021 7560539, Fax 021 7560538
HP. 0815 14160208
E-mail: maswendis@yahoo.co.id

Abstrak

Minyak goreng bekas saat ini sudah mulai banyak dimanfaatkan sebagai biodisel (methyl ester) yang merupakan alternatif bahan bakar, diproduksi selain dari bahan konvensional seperti sawit dan jarak. Cara ini cukup jitu untuk mengantisipasi masalah limbah dan upaya meningkatkan nilai tambah dari bahan yang sudah habis nilai ekonomisnya. Banyak studi sudah dilakukan dan menyimpulkan bahwa biodisel dari minyak goreng bekas merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan. Telah dilakukan pula pengujian di Lab BTMP dengan membandingkan pemakaian solar dari fosil dengan biodisel dari minyak goreng bekas yang menggunakan genset DongFeng 220 volt pada 3 macam variasi pembebanan. Pada operasi 60, 70, 80 jam diambil sampel uji emisi dan didapatkan bahwa kedua bahan bakar; solar ataupun biodisel mengeluarkan emisi gas buang CO, NO₂ dan SO₂ memenuhi baku mutu standar lingkungan. Tetapi untuk CO₂, CO, biodisel dari minyak goreng bekas menunjukkan sedikit lebih tinggi 1,2 sampai 2 kali lipat dari kadar yang dikeluarkan sumber bahan bakar solar. Sedangkan SO₂ yang dikeluarkan oleh biodisel menunjukkan kadar yang lebih rendah dibandingkan yang dikeluarkan oleh solar. Sementara itu NO₂ menunjukkan nilai yang tidak terlalu signifikan perbandingan diantara kedua bahan bakar tersebut.

Kata kunci: solar, biodisel, CO₂, CO, SO₂,

1. Pendahuluan

Hingga saat ini, seluruh sektor pembangkit energi berpenggerak motor disel baik untuk transportasi, nelayan, traktor, industri, dan juga sebagian pembangkit listrik masih mengandalkan energi minyak solar. Minyak disel yang diproduksi dari *fossil fuel* adalah bahan bakar cair yang di Indonesia dikenal sebagai minyak solar, yang akan segera habis seperti juga bensin (*gosoline*), karena sifatnya yang tak terbarukan. Untuk melestarikan pemakaian mesin-mesin penggerak yang saat ini ada, maka banyak orang mulai mempelajari berbagai kemungkinan penggunaan bahan bakar alternatif yang dapat dipakai sebagai pengganti penggerak mesin disel seperti biodisel.

Sejak dirasakan adanya kelangkaan bahan bakar minyak (BMM) yang melanda Indonesia, masyarakat di beberapa daerah sempat panik, terutama daerah padat penduduk; Jawa dan Sumatra. Karena kurangnya pasokan BBM, sebagai sumber energi vital akan melumpuhkan kegiatan ekonomi rakyat sehari-hari. Dengan demikian perlu dicarikan sumber energi alternatif pengganti minyak solar. Biodisel adalah salah satu sumber energi alternatif yang dapat dibuat dari berbagai macam minyak nabati seperti minyak jagung, sawit, jarak, canola, mustard, bunga matahari, kedelai, dan bahkan dari minyak goreng bekas. Sebenarnya di alam ini masih banyak bahan baku yang bisa dipakai untuk menggantikan sumber energi minyak solar, seperti biodisel. Indonesia perlu mulai mengembangkan biodiesel mengingat bahan bakunya berlimpah, yang dipicu oleh kenyataan bahwa produksi minyak bumi Indonesia sudah mulai menurun. Adanya diversifikasi bahan bakar, setidaknya hal ini dapat menghemat pemakaian bahan bakar konvensional dari fosil.

Perkembangan Biodiesel atau Biofuel lainnya diharapkan dapat menciptakan barang substitusi BBM masa datang dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak, serta dapat menggerakkan perekonomian khususnya sektor pertanian. Jika harga BBM

mengalami kenaikan, tentu konsumen akan beralih kepada bahan bakar yang potensial lebih murah seperti biofuel / biodiesel atau berlaku sebaliknya. Lonjakan harga minyak dunia yang sangat tinggi, yang saat ini telah menembus pada level 70US\$/barel, tentu merupakan berkah tersendiri untuk pengembangan biodiesel di Indonesia. Lebih lagi, adanya dukungan pemerintah yang tertuang dalam Cetak Biru (*blue print*) Pengelolaan Energi Nasional yang dibahas dalam Sidang Kabinet, 3 Mei 2005. Ditetapkan bahwa target energi terbarukan tahun 2005 adalah sebesar 10 persen dari total energy mix, dan 1,336 persen di antaranya dari biofuel, seperti bio-ethanol dan biodiesel.

Dalam berbagai percobaan biodiesel dapat digunakan langsung (100 persen) sebagai bahan bakar pada mesin diesel tanpa perlu memodifikasi mesin atau dalam bentuk campuran dengan minyak solar pada berbagai konsentrasi mulai dari 5 persen. Pencampuran 20 persen biodiesel ke dalam minyak solar menghasilkan produk bahan bakar tanpa mengubah sifat fisik secara nyata dan pencemaran gas yang lebih bersahabat.

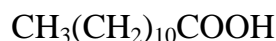
Kecenderungan masa kini, dengan maraknya kegiatan penelitian dan percobaan penggunaan minyak sayur (*vegetable oil*) sebagai bahan bakar untuk motor disel, bukanlah merupakan terobosan dan pandangan baru. Dr. Rudolf Diesel pada tahun 1895, saat pertama mengembangkan konsep motor diesel sudah mendesain mesinnya untuk dioperasikan dengan minyak sayur. Dia telah berhasil mendemonstrasikan mesinnya pada pameran dunia (*World Exhibition*) di Paris tahun 1900, dengan melakukan percobaan yang menggunakan minyak kacang sebagai bahan bakar mesin disel. Lebih jauh dari itu, pada tahun 1911 Rodolf Diesel pernah menyatakan bahwa pemakaian minyak sayur sebagai bahan bakar akan sangat membantu perkembangan pertanian disuatu wilayah. Tetapi ketika kalangan industri mencoba menggunakan minyak bumi (*fossil fuel*) yang memiliki keunggulan tertentu pada motor disel, maka penggunaan minyak sayur menjadi tersisihkan. Sejak itu, pemakaian solar dari minyak bumi berlangsung secara besar-besaran. Memang pada prinsipnya mesin temuan Rudolf Diesel itu, dapat digerakkan oleh berbagai macam bahan bakar seperti: minyak solar (*petroleum diesel*) atau dengan minyak tumbuhan yang ada di alam ini.

2. Minyak Goreng Bekas sebagai Biodiesel

Pada akhir-akhir ini, penelitian dan pengembangan biodiesel sudah banyak dilakukan yang dipicu oleh kesadaran parsial, adanya potensi yang sangat besar pada pengembangan energi alternatif seperti biofuel/diesel di Indonesia, yang sementara itu telah banyak sukses untuk memenuhi persyaratan bahan bakar industri maupun otomotif.

Biodiesel adalah nama generik untuk methyl ester dan ethyl ester yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan mempunyai beberapa keunggulan lain dari segi lingkungan apabila dibandingkan dengan minyak solar (*petroleum diesel*). Adapun bahan dasar yang dipakai biodiesel dapat dikelompokkan dalam 3 sumber antara lain; sumber pangan (singkong, jagung, sawit), non-pangan (jarak pagar seperti *Jatropha curcas* ,dan jarak kaliki *Ricinus communis*) dan limbah minyak goreng bekas.

Minyak goreng bekas atau yang sering dikenal sebagai minyak jelanta adalah limbah minyak goreng yang tidak lagi memiliki nilai ekonomis dan sudah menjadi barang buangan. Warnanya sudah sangat pekat karena sering digunakan. Dan jika dipakai menggoreng terus menerus akan sangat membahayakan kesehatan dan dapat menimbulkan penyakit kanker. Salah satu terobosan yang sudah dilakukan para peneliti adalah upaya menjadikan limbah buangan ini sebagai bahan bakar biodiesel. Penelitian membuktikan ada kesamaan karakteristik antara limbah minyak goreng bekas dengan minyak kelapa. Minyak goreng bekas memiliki komposisi asam lemak tak jenuh sekitar 30%, sementara jenuhnya 70%, dengan kandungan hampir 50% asam laurat;



Hasil olahan biodiesel yang didapat dari minyak goreng bekas setelah diuji, memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang mendekati sama dengan solar⁽¹⁾. Selain itu beberapa sifat

unggulannya yang dapat diuraikan antara lain: secara biologis (*biodegradable*), tidak beracun (*nontoxic*), dan tidak mengandung senyawa aromatik (*carcinogenic*) dan sulfur. Dengan demikian bahan bakar alternatif yang memiliki panjang rantai karbon antara 12 sampai 20, bebas emisi sulfur dioksida dan ramah lingkungan. Biodisel juga memiliki sifat sebagai pelarut (*solvent*) yang dapat merontokkan deposit yang terakumulasi pada dinding tanki bahan bakar dan pipa-pipa.

Hambatan terbesar mengenai aplikasi biodisel adalah harganya yang masih mahal. Untuk menekan harga biodisel, pendekatan yang dilakukan adalah menggunakan bahan baku kualitas rendah dalam proses pembuatannya, misalnya CPO kualitas rendah, atau minyak goreng bekas dari pabrik pengolahan makanan, restaurant, dan limbah dari pabrik pengolahan minyak goreng (*free fatty acid distillat*).

Dengan pertimbangan daur ulang dan upaya mencari diversifikasi, bahan baku minyak, maka bahan baku yang lebih murah seperti minyak goreng bekas (minyak jelantah), akan menjadi prioritas sebagai pengganti minyak solar.

Beberapa variasi pemakaian campuran biodisel berbasis minyak goreng bekas adalah sbb;

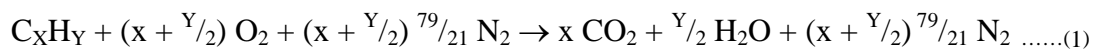
- o yang masih agak encer, biodiesel tersebut bisa dipakai 80 persen dan disubstitusi dengan solar 20 persen untuk pembangkit diesel.
- o yang agak pekat, karena minyak gorengnya sering dipakai, biodieselnnya bisa dipakai 40 hingga 60 persen sisanya disubstitusi dengan solar.
- o sebenarnya bisa 100 persen biodisel dipakai, tetapi dampaknya akan lengket-lengket pada poros-poros mesin diesel khususnya pada mesin diesel yang porosnya masih menggunakan karet sebagai bahan penyambungannya.

Untuk memberikan dukungan pada pemanfaatan biodisel pada pemakaian energi sehari-hari perlu diuji perbandingan emisi gas buang yang dibangkitkan oleh 2 bahan bakar antara minyak solar dengan biodisel berbasis minyak goreng bekas.

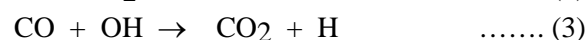
3. Emisi Gas Buang

Suatu konsep zero waste yang menjadi acuan pengembangan teknologi dan pemakaian energi pada era globalisasi, dapat diperagakan pada siklus pembuatan, pemakaian dan daur ulang biodiesel. Karbon yang dilepas ke udara dari unsur bahan bakar sebagai polutan dapat didaur ulang kembali melalui memanfaatkan energi matahari dan CO₂. 2 unsur utama itu adalah yang dibutuhkan bagi pertumbuhan pohon / sayuran sebagai sumber energi terbarukan. Keseimbangan alam akan terjadi pada saat berlangsungnya pembakaran yang disertai dengan pelepasan karbon, dan pada saat yang sama karbon dari udara diserap oleh tumbuhan pada phase fotosintesa.

Adapun saat terjadinya pembakaran, reaksi keseimbangan kimia pembakaran antara bahan bakar dengan udara untuk pembakaran sempurna dapat diuraikan sbb:



Sedangkan reaksi pembakaran tidaklah selalu sempurna, sehingga sangat dimungkinkan terjadi disosiasi antara CO₂ dan CO. CO adalah produk pembakaran tidak sempurna, yang angkanya melebihi emisi gas beracun lainnya. Sedangkan mekanisme pembentukan CO dan CO₂ dari proses pembakaran carbon dalam ruang bakar dapat diterangkan melalui beberapa tahapan proses sbb:



Karbon pada bahan bakar akan bereaksi dengan molekul oksigen dalam rantai reaksi yang hanya dapat mencapai hasil karbon monoksida. Kemudian karbon monoksida bereaksi dengan hidroksil radikal sehingga membentuk carbon dioksida dan atom hidrogen. Reaksi ke-2 ini

dapat berlangsung dengan kecepatan yang besar sekali, dan keberhasilannya dapat mencapai sekitar 10 kali lipat dari pada reaksi yang ke-3.

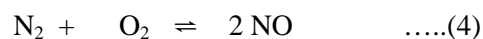
Konsentrasi oksigen akan sangat berperan pada pembentukan CO dan CO₂ dimana oksigen itu sangat diperlukan pada reaksi ke-2 dengan molekul- molekul yang ada pada bahan bakar, dan pembentukan hidrogen radikal untuk reaksi ke-3.

Pada umumnya CO mencapai keseimbangan reaksi pada temperatur tinggi dalam ruang bakar. Temperatur yang diduga adalah diatas 1800^o K atau 1527^o C, ketika produk gas hasil pembakaran yang berada pada temperatur tinggi tersebut berada pada kondisi yang tidak stabil, sehingga disosiasi balik dari CO₂ ke CO dimungkinkan terjadi. Sehingga konsentrasi CO dan CO₂ akan berubah setiap saat. Terbentuknya sejumlah gas CO nampaknya sulit sekali dihindari. Kehadiran CO cenderung akan semakin besar kalau bahan bakar terbakar dalam keadaan tidak cukup udara. Artinya konsentrasi oksigen terlalu sedikit untuk mengoksidasi seluruh karbon yang ada dalam bahan bakar untuk menjadi karbon dioksida. Jika jumlah oksigen bertambah, yang disertai hidroksil radikal, maka konversi dari monoksida ke dioksida akan mudah terjadi.

Pembentukan NO_x pada reaksi kimia pembakaran di dalam ruang bakar mesin tidak nampak, karena reaksi pembakaran mengasumsikan bahwa N₂ sebagai gas mulia (*inert*), tidak akan bereaksi dengan elemen apapun. Artinya N₂ sebagai ikutan dalam gas pembakaran akan keluar lagi sebagai N₂ pada pasca pembakaran.

Tetapi pada kenyataannya, emisi gas buang yang dilepas oleh saluran buang mesin disel, terdapat sejumlah kecil NO_x. Sehingga asumsi “pembakaran sempurna” sebelumnya, tidaklah selalu terjadi dalam kenyataan. Kelebihan oksigen dan nitrogen-lepas cenderung untuk bergabung dan membentuk nitrogen oksida jika kondisi lingkungan yang seketika temperaturnya sangat tinggi dan didukung dengan tersedianya udara dalam jumlah yang cukup.

Mekanisme pembentukan nitric oksida (NO) nampaknya lebih kompleks, yang meliputi proses keseimbangan dan proses non-keseimbangan yang dapat terjadi pra-pembakaran, saat pembakaran dan pasca pembakaran. Secara sederhana reaksi dapat berlangsung sbb:



Pembentukan NO pada persamaan reaksi (4) membutuhkan energi sangat banyak, sehingga kecepatan pembentukan NO sangat tergantung pada temperatur gas pembakaran yang ada. Pada saat yang sama reaksi pembentukan CO₂ dapat terjadi dari reaksi NO & CO.

Sebagai tambahan dari reaksi diatas, suatu rantai reaksi lain yang ikut mempengaruhi pembentukan kinetik nitric oksida.



Pada reaksi (6) ini, dikenal sebagai “*Lovoice mechanism*” yang memerlukan adanya hydroxil radikal, yang sering tersedia pada proses pembakaran, khususnya ketika terjadi uap air atau pada internal bahan bakar (biodisel).

Secara umum proses pembentukan NO diruang bakar, dan konsentrasinya pada gas buang akan dipengaruhi oleh beberapa aspek, antara lain :

- o jumlah oksigen yang tersedia
- o konsumsi bahan bakar spesifik (*spesifik fuel consumption*)
- o temperatur pembakaran

Disamping itu temperatur gas pembakaran akan sangat dipengaruhi pada kondisi stoikhiometrik campuran udara-bahan bakar.

Selanjutnya untuk melihat perbedaan pemakaian biodisel (dari minyak goreng bekas) dengan minyak solar dan pengaruhnya pada pembentukan gas buang hasil pembakaran dilakukan percobaan dibawah ini. Pengujian pada sajian makalah ini dimaksudkan:

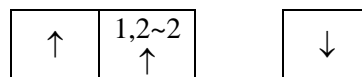
- untuk mendapatkan gambaran bagaimana karakteristik gas buang dari minyak disel dan biodisel
- meninjau tingkat reaktifitas masing-masing bahan bakar yang diuji
- meningkatkan keyakinan, bahwa perlunya selalu mencari alternatif bahan bakar sebagai pengganti minyak solar dari bahan dasar yang paling murah dan memenuhi dampak lingkungan yang ramah

4. Metoda Pengujian & Hasil

2 jenis bahan bakar biodisel 100% berbasis minyak goreng bekas dan minyak solar (sebagai pembanding), diuji pada 2 unit Genset DongFeng 8 kW dengan setting 220 volt. Ke-2 unit mesin disel dioperasikan hingga 50 jam dan data diambil masing-masing pada jam ke-60, 70 dan 80 dengan pembebanan masing-masing 20%, 40%, 60% dari kapasitas dayanya. Emisi gas buang ke dua percobaan itu, diukur untuk jenis karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂) dan sulfur dioksida (SO₂), sebagaimana yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1, Tabulasi Emisi Gas Buang untuk Biodisel dan Minyak Solar

Operasi (jam) ke:		Biodisel Minyak Bekas				Solar (petroleum)			
		CO ₂	CO	NO ₂	SO ₂	CO ₂	CO	NO ₂	SO ₂
60 jam	20%	4,5	479	26,5	-	2,2	236	27,9	26
	40%	7,2	417	11,7	-	4,3	314	16,4	39
	60%	10,8	871	1,5	-	5,8	667	1,2	70
70 jam	20%	4,5	479	2,1	-	3,4	396	35,8	40
	40%	5,7	351	1,6	-	4	225	7,4	43
	60%	8,1	736	1,2	-	5,9	462	1,6	54
80 jam	20%	4,9	419	34,9	-	3	376	32,6	36
	40%	7,3	357	3,4	-	4,2	324	7,6	40
	60%	12,1	1168	2,0	-	6,4	349	1,8	50



Emisi CO₂, menunjukkan hasil pembakaran sempurna yang juga sebagai elemen gas *greenhouse* (gas rumah kaca), sedangkan CO, NO₂, SO₂ adalah *toxic gases* (gas beracun). Nilai CO₂ diukur dalam %, sementara itu CO, NO₂ dan SO₂, dalam ppm (part permillion) dari bagian gas buang yang dikeluarkan mesin disel DongFeng.

5. Pembahasan :

Hal yang menggembirakan justru didapat pada hasil uji emisi gas buang. Tingkat polutan berupa gas yang dihasilkan dari mesin disel yang berbahan bakar biodisel jauh lebih baik, terbukti dari indikator asap pembuangan pun berwarna putih yang menandakan itu lebih ramah lingkungan.

Tidak seperti gasoline dan minyak disel, pada bahan bakar biodisel sudah mengandung unsur oksigen setara 5,5% *excess air* (kelebihan udara). Dengan demikian, pada pembakaran sempurna yang biasanya selalu ditambahkan *excess air* 5 hingga 10%, maka penggunaan biodisel secara teori sudah memenuhi terjadinya pembakaran yang mendekati sempurna.

Pernyataan sebelumnya yang menyebutkan faktor tersedianya oksigen yang cukup, akan sangat berperan terjadinya pembakaran sempurna. Hal itu dapat dilihat dengan semakin banyaknya CO₂ terbentuk. Emisi gas CO₂ yang terjadi bervariasi dari angka maksimum 8,1% hingga 12,1% untuk bahan bakar biodisel. Angka itu cukup tinggi dibandingkan dengan CO₂ yang terbentuk pada bahan bakar minyak solar. Sedangkan diketahui bahwa suatu pembakaran pada mesin yang baik ditunjukkan terjadinya CO₂ adalah 12 hingga 18,1%.

Hasil pembakaran dengan minyak solar menunjukkan angka minimum produk CO₂ sebesar 2,2% sedangkan pada biodisel 4,5%, dan maksimum CO₂ 6,4% untuk solar dan 12,1% untuk biodisel. Dengan demikian reaksi pembakaran mengidentifikasi pembakaran pada biodisel menghasilkan CO₂ *double* (2 kali lebih besar) dibandingkan minyak solar.

Nilai CO yang terbentuk oleh biodisel 1,2 hingga 2 kali lebih besar daripada CO yang terbentuk oleh minyak solar. Dengan melihat kembali, secara bersamaan terjadinya CO₂ yang lebih tinggi pada biodisel dibandingkan terhadap minyak solar, maka dapat dibaca sementara bahwa reaktifitas bahan bakar biodisel lebih tinggi dibandingkan minyak solar. Tetapi hal ini, masih perlu dilihat lagi *unburnt fuel* (bahan bakar yang tidak terbakar) berupa polutan HC pada masing-masing percobaan tsb.

Biodisel secara kimia bebas dari unsur ikutan sulfur, sehingga biodisel tidak berkontribusi terjadinya SO₂, sebagai mana yang terjadi pada emisi berbahan bakar minyak solar yang bahan bakarnya dipersyaratkan kandungan sulfur tidak boleh melebihi 0,5% menurut Pertamina.

Prospek pengembangan biodisel berbasis minyak goreng bekas, secara teknologi pembakaran, menunjukkan produk pembakaran yang lebih ramah lingkungan. Sehingga upaya memperbanyak proses daur ulang minyak goreng bekas menjadi biodisel akan;

- o meningkatkan nilai ekonomis limbah minyak goreng bekas
- o mengurangi pemanfaatan biodisel dari bahan baku komersial (sawit, jagung, ketela. Jarak dll)
- o mengurangi ketergantungan pada minyak bumi yang tidak lama lagi akan lenyap.

Biodisel dari minyak goreng bekas perlu disosialisasikan pada masyarakat / kelompok kerja lainnya untuk mengembangkan sektor ekonomi dengan pertimbangan sbb

- o bahan baku sangat murah dan mudah didapat dari rumah tangga, penjual gorengan, restoran kecil dan besar.
- o kilang produksinya tidak memerlukan suatu investasi yang mahal, lahan yang luas, seperti memproduksi minyak solar.
- o tidak memerlukan tenaga kerja yang banyak, dan potensial sangat mudah pemasarannya.

6. Kesimpulan:

- o Jumlah CO₂ yang terbentuk pada biodisel 2X lebih besar dibandingkan dengan yang dikeluarkan oleh mesin yang berbahan bakar minyak solar
- o Reaktifitas bahan bakar biodisel lebih tinggi yang dapat dibuktikan dengan banyaknya CO₂ dan CO yang terbentuk dibandingkan minyak solar.
- o Oksigen yang ada pada bahan bakar biodisel cukup membantu memenuhi persyaratan tersedianya oksigen yang cukup selama dan pasca pembakaran.
- o Masih perlu dikaji adanya unsur HC yang tidak terbakar (*unburnt fuel*), sebagai rujukan untuk membenarkan tingginya reaktifitas biodisel
- o Biodisel dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena bersifat dapat diperbarui dan menghasilkan emisi gas buang relatif lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar disel konvensional yaitu minyak solar.
- o Gambaran ini memberikan upaya pengembangan biodiesel sepatutnya lebih diarahkan untuk memanfaatkan bahan non-pangan dan usaha daur ulang minyak goreng bekas.
- o Perlu diproduksi secara komersial karena bisnis ini memiliki prospek yang cukup menguntungkan

7. Daftar Pustaka:

- [1]. Siti Yubaidah, Rizqon Fajar, “**Sintesa Biodisel Dengan Bahan Baku Minyak Goreng Bekas**”, Jurnal Termodinamika dan Fluida, No:18/tahunIX Volume2, Desember 2005
- [2]. Dieter Kattage, “**Exhaust Systems for Motor Vehicles**”, verlag moderne, industrie AG & CO, 1991
- [3]. Bosch, “**Automotive Handbook**”, Robert Bosch GmbH, 4th Edition, Stuttgart, 1996.
- [4]. Heinz Heisler, “**Advanced Engine**” Technology, 1995.

BIODATA PENULIS :

Ir. M. Wendy Zulfikar, MSc

Menyelesaikan starata 1 pada Fakultas Teknik Mesin ITS tahun 1984 dan program Master pada Departemen “Mechanical & Process Engineering” bidang “Combustion Science and Pollution Control” di Sheffield University tahun 1992. Mengikuti pelatihan tentang pabrikasi dan desain enjinereng pada pabrik mesin di Daimler Benz Ag, KHD Ag. Jerman Barat. Pelatihan pengujian mesin dan motor bakar di UCE-Birmingham, UK. Pengalaman kerja sejak tahun 1984 hingga sekarang pada BPPTeknologi serta pernah menjabat sebagai Koordinator Proyek LTMP-BPPT di kawasan PUSPIPTEK Serpong pada tahun anggaran 1988/1989/1990. Saat ini, berkarier dalam jabatan fungsional sebagai Peneliti Muda bidang Mesin.

Misbah Kudin, ST

Lahir di Pematang, 10 April 1972. Pendidikan D-3 Teknik Mesin di Politeknik ITB diselesaikannya pada tahun 1995. Bekerja di BPPT, pada unit BTMP (Balai Termodinamika, Motor, dan Sistem Propulsi), Serpong ditekuni sejak tahun 1996, dengan jabatan fungsional Perakayasa Pertama. Tahun 2003, menamatkan S-1 pada Universitas Nasional Jakarta, jurusan Teknik Fisika. Pernah mengikuti training Laboratorium Mesin dan Emisi gas buang di UK tahun 1997. Saat ini tinggal di Komplek PUSPIPTEK V-E8 Serpong Banten.