

STRATEGI PENGGUNAAN ENERGI DI SEKTOR TRANSPORTASI¹

Agus Sugiyono

Direktorat Teknologi Energi, BPP Teknologi

Abstract

Recently oil product is a main fuel in transportation sector in Indonesia. Waste gas from combustion of oil product contains pollutant such as SO₂, NO_x, CO, VHC, SPM and other particles. The pollutants have negative impact to human and the ecosystem if exceed the certain concentration. To reduce the pollutant in transportation sector, energy utilization strategies should be carried out. In this paper, the MARKAL Model is used with two scenarios: Doing Nothing Case (DNC) and Emission Reduction Case (ERC) to make energy utilization strategies in transportation sector. Using ERC scenario, waste gas emission in transportation sector especially NO_x, CO and VHC emission could be reduced using this method: fuel substitution from oil product to gas fuel, equipment of gasoline car with catalytic converters, and utilization of diesel engine with low emission.

Katakunci: sektor transportasi, penggunaan energi, emisi gas buang

1. PENDAHULUAN

Sektor transportasi tumbuh dan berkembang seiring dengan peningkatan perekonomian nasional. Transportasi merupakan sarana yang penting bagi masyarakat modern untuk memperlancar mobilitas manusia dan barang. Saat ini BBM merupakan andalan utama bahan bakar di sektor transportasi. Pada tahun delapan puluhan, pemakaian bahan bakar minyak (BBM) di sektor transportasi telah mengalami pertumbuhan sebesar 6,8 % per tahun. Mengingat sumber daya minyak bumi semakin terbatas maka perlu diupayakan diversifikasi energi untuk sektor transportasi.

Gas buang sisa pembakaran BBM mengandung bahan-bahan pencemar seperti SO₂ (Sulfur Dioksida), NO_x (Nitrogen Oksida), CO (Karbon Monoksida), VHC (*Volatile hydrocarbon*), SPM (*Suspended Particulate Matter*) dan partikel lainnya. Bahan-bahan pencemar tersebut dapat berdampak negatif terhadap manusia ataupun ekosistem bila melebihi konsentrasi tertentu. Dengan peningkatan penggunaan BBM untuk sektor transportasi maka gas buang yang mengandung polutan juga akan naik dan akan mempertinggi kadar pencemaran udara. Oleh karena itu perlu suatu strategi yang tepat dalam penggunaan energi di sektor transportasi untuk mengurangi emisi polutan ini sehingga

penggunaan energi dapat tetap ramah terhadap lingkungan.

Dalam makalah ini akan dibahas strategi penggunaan energi di sektor transportasi berdasarkan hasil studi dengan menggunakan Model MARKAL yang merupakan model energi dengan optimasi biaya yang terkecil. Sektor transportasi yang termasuk dalam studi ini adalah transportasi darat, air, udara dan kereta api. Transportasi darat terdiri atas mobil, truk, bus dan sepeda motor. Transportasi air dan udara masing-masing terdiri atas transportasi domestik dan internasional. Sedangkan skenario yang digunakan adalah kasus tanpa tindakan (*DNC-Doing Nothing Case*) dan kasus pengurangan emisi (*ERC-Emission Reduction Case*). Pada *DNC* teknologi yang dipakai untuk penyediaan energi maupun pemakaian energi dianggap tidak mengalami perubahan dari yang telah ditetapkan dan direncanakan pada saat sekarang. Teknologi bersih lingkungan belum diperhitungkan dalam skenario ini. Pada *ERC* disusun suatu strategi penyediaan energi yang ekonomis dengan mempertimbangkan faktor lingkungan. Untuk mengurangi emisi polutan di sektor transportasi dipergunakan teknologi katalitik konverter pada kendaraan berbahan bakar bensin dan penggunaan mesin diesel yang beremisi rendah.

Proyeksi kebutuhan energi ini tidak memperhitungkan kondisi krisis ekonomi yang

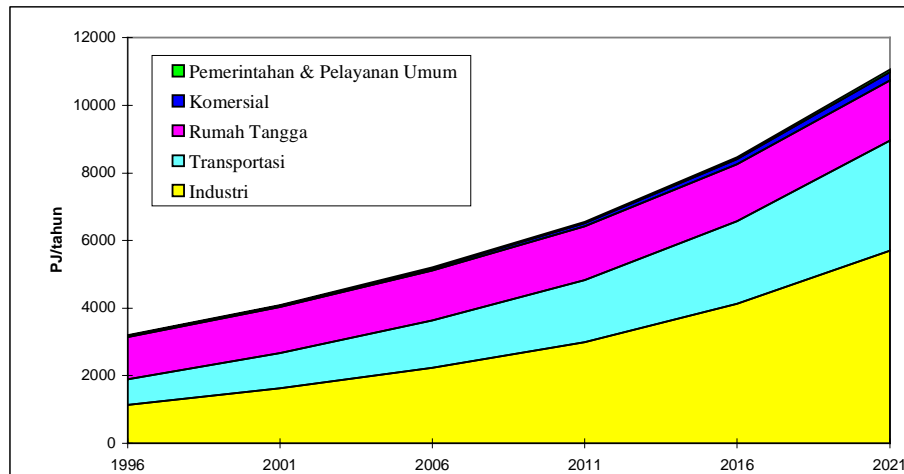
¹ Majalah BPP Teknologi, No. LXXXV/Mei'98, hal 34-40, ISSN 0216-6569

melanda ASEAN, termasuk Indonesia yang terjadi sejak bulan Juni 1997 hingga saat ini. Diasumsikan bahwa krisis ekonomi tersebut hanya berpengaruh terhadap perekonomian untuk jangka pendek sedangkan untuk jangka panjang, Indonesia sudah akan mampu mencapai pertumbuhan seperti dalam proyeksi ini.

Kebutuhan energi saat ini masih didominasi oleh sektor rumah tangga. Mulai tahun 2001 pangsa kebutuhan energi yang terbesar bergeser dari sektor rumah tangga ke sektor industri dan sektor transportasi menduduki urutan yang ketiga. Pada tahun 2006 sektor transportasi menduduki pangsa terbesar yang kedua (30 %) setelah sektor industri (51 %). Untuk jangka panjang sektor transportasi tetap memegang pangsa terbesar yang kedua. Gambar 1 memberikan gambaran proyeksi kebutuhan energi di Indonesia untuk tiap-tiap sektor.

transportasi udara dengan pangsa 9 % pada tahun 2021. Pangsa transportasi dengan menggunakan kereta api diperkirakan masih sangat rendah.

Kebutuhan bahan bakar untuk sektor transportasi secara keseluruhan didominasi oleh minyak diesel diikuti oleh bensin. Kedua bahan bakar tersebut dikonsumsi lebih dari 85 % dari total kebutuhan. Sisanya adalah minyak tanah dan FO. Konsumsi BBM akan meningkat dengan pertumbuhan sebesar 6.2 % per tahun. Pada tahun 2021 sektor ini memerlukan BBM sebesar 83 % dari total produksi BBM nasional. Untuk jangka panjang bahan bakar gas (BBG) yang dapat digunakan untuk mobil LPG (*Liquid Petroleum Gas*) dan CNG (*Compressed Natural Gas*) mempunyai potensi untuk dikembangkan seperti yang dinyatakan dengan bahan bakar lain-lain pada Gambar 3. Bahan bakar lain-lain di sini termasuk konsumsi energi listrik untuk kereta api



Gambar 1. Proyeksi kebutuhan energi tiap-tiap sektor

2. KEBUTUHAN ENERGI SEKTOR TRANSPORTASI

Proyeksi kebutuhan energi untuk sektor transportasi termasuk di dalamnya subsektor transportasi darat, udara, air dan kereta api ditunjukkan pada Gambar 2. Kebutuhan energi yang terbesar didominasi oleh angkutan darat sebesar 80 % dari total kebutuhan. Transportasi darat diperkirakan akan tumbuh sebesar 5.2 % per tahun sedangkan untuk transportasi air dan udara naik masing-masing sebesar 7.1 % dan 6.6 % pertahun. Transportasi air yang tumbuh paling cepat hanya mempunyai pangsa 14 % sedangkan

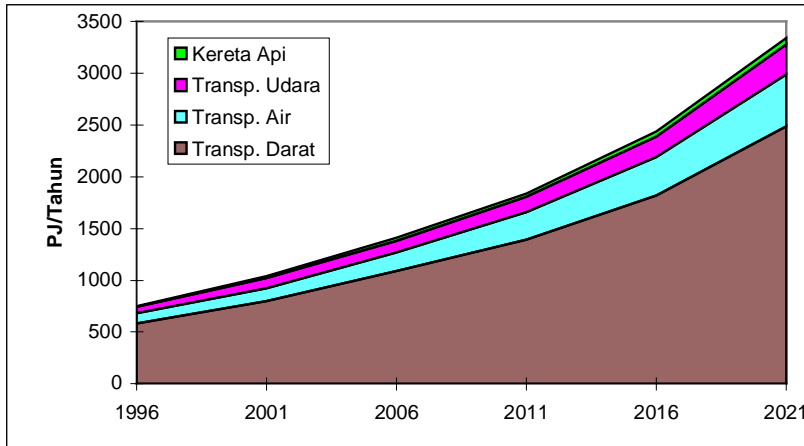
yang tumbuh sebesar 6.5 % per tahun. Pangsa konsumsi energi listrik ini masih sangat kecil yaitu sebesar 0.2 % pada tahun 2021 atau sebesar 5 PJ/tahun.

3. DAMPAK LINGKUNGAN

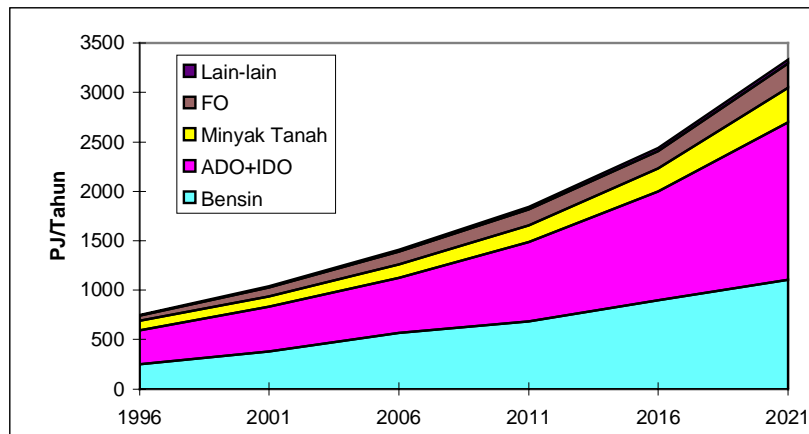
Berdasarkan skenario DNC dapat dihitung emisi polutan yang ditimbulkan oleh penggunaan energi di sektor transportasi berdasarkan koefisien emisi kendaraan bermotor. Untuk menentukan koefisien emisi dilakukan pengambilan sampel gas buang kendaraan bermotor pada saat diam. Dilakukan juga

observasi dengan menggunakan kamera video pada berbagai jenis kondisi lalu lintas. Pengambilan sampel dilakukan pada 350 kendaraan secara random di berbagai tempat di Jakarta. Dengan tambahan informasi dari literatur

dan dengan menggunakan data hasil pengukuran dapat ditentukan koefisien emisi seperti ditampilkan pada Tabel 1. Yang termasuk dalam perhitungan ini adalah emisi NO₂, SO₂, SPM dan VHC untuk wilayah Jawa.



Gambar 2. Kebutuhan energi sektor transportasi untuk setiap moda transportasi



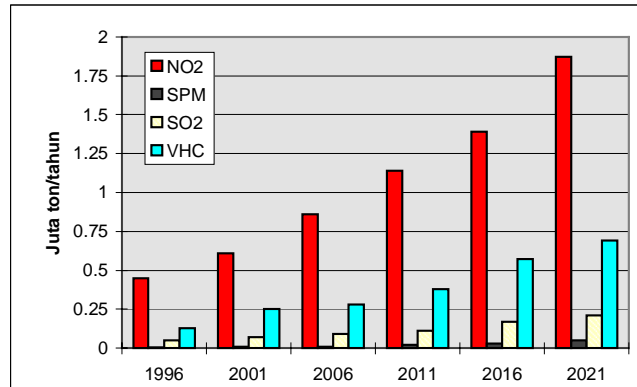
Gambar 3. Kebutuhan energi sektor transportasi untuk setiap jenis energi

Table 1. Koefisien emisi kendaraan bermotor [1]

| | Mobil Penumpang | | Truk | Bus | Truk & Bus Kecil | | Sepeda Motor |
|-----------------|-----------------|--------|------|------|------------------|--------|--------------|
| | Bensin | Diesel | | | Bensin | Diesel | |
| | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | g/km | |
| NO ₂ | 6.38 | 1.89 | 16.1 | 15.6 | 7.98 | 2.22 | 0.2 |
| VHC | 3.66 | 0.99 | 2.37 | 2.36 | 6.42 | 3.8 | 5.99 |
| SO ₂ | 0.062 | 0.86 | 1.28 | 1.29 | 0.087 | 1.02 | 0.026 |
| SPM | - | 0.36 | 0.54 | 0.56 | - | 0.48 | 0.12 |

Emisi polutan di sektor transportasi ditunjukkan pada Gambar 4. Pangsa emisi NO_2 di sektor transportasi saat ini mencapai 66 % dari total emisi akibat penggunaan energi. Pada tahun 2021 emisi NO_2 mencapai 5 kali dari pada kondisi saat ini. Emisi SPM untuk sektor transportasi

syaraf dan ginjal serta dapat menyebabkan hiperaktif. Terhadap ekosistem SO_2 dan NO_2 merupakan pencemar yang menyebabkan kenaikan pH air hujan yang sering disebut hujan asam.



Gambar 4. Emisi polutan sektor transportasi di Jawa

masih relatif kecil bila dibandingkan dengan total emisi (0.5 %), sedangkan untuk emisi SO_2 mempunyai pangsa sebesar 4 % pada saat ini dan naik pangasanya naik sebesar 6 % pada tahun 2021. Sedangkan untuk emisi VHC sektor transportasi mempunyai pangsa yang cukup besar yaitu sebesar 50 % dari total emisi pada tahun 1996 dan naik menjadi 71 % pada tahun 2021.

Pada saat ini emisi NO_2 dan VHC dari sektor transportasi mempunyai andil yang besar bagi pencemaran udara dan ditambah dengan emisi SPM untuk jangka panjang. Dengan skenario DNC ini, beberapa wilayah di Jawa akan mengalami pencemaran lingkungan untuk jangka panjang bila tidak ada tindakan pencegahan.

Dampak polutan seperti : SO_2 , NO_2 , CO, VHC dan partikel lainnya (Pb/Timah Hitam) pada kesehatan manusia dan ekosistem dapat bermacam-macam. CO merupakan gas beracun yang sangat berbahaya terhadap manusia. gas CO pada konsentrasi rendah bila terhirup dalam jangka lama akan menyebabkan gangguan daya pikir, memperlambat reflek dan menimbulkan kantuk. NO_2 pada konsentrasi sedang dengan pemaparan yang lama dapat menyebabkan bronkhitis dan menimbulkan bisul berair pada paru-paru, sedangkan dengan konsentrasi tinggi akan menyebabkan kematian. SO_2 dapat menyebabkan iritasi pada mata, saluran pernapasan dan bronkhitis. Pb dapat mempengaruhi sistem sirkulasi, reproduksi,

4. STRATEGI PENANGGULANGAN EMISI POLUTAN

Beberapa kebijaksanaan pemerintah yang telah dilaksanakan untuk mengurangi emisi polutan dan diversifikasi penggunaan energi di sektor transportasi ditunjukkan pada Tabel 2. Bensin yang saat ini beredar yaitu Premium RON 92, Premix RON 94, Premium TT dan Super TT. Dengan adanya bensin tanpa Pb ini maka terbuka peluang untuk pemasangan katalitik konverter yang dapat mengurangi emisi polutan dari gas buang kendaraan bermotor. Sedangkan penggunaan kendaraan berbahan bakar gas (CNG maupun LPG) disamping akan mengurangi emisi juga untuk menunjang program diversifikasi.

Pada skenario ERC pengurangan emisi ditekankan pada penggunaan katalitik konverter pada kendaraan berbahan bakar bensin dan penggunaan mesin diesel yang beremisi rendah. Dengan skenario ERC dapat mengurangi emisi rata-rata sebesar 85 % bila dibandingkan dengan skenario DNC. Pengurangan emisi SO_2 , NO_2 , VHC dan SPM pada tahun 2021 di Jawa masing-masing adalah sebesar 0.07 juta ton per tahun, 0.65 juta ton per tahun, 0.20 juta ton per tahun dan 0.01 juta ton per tahun. Pengurangan terbesar emisi NO_2 dan VHC karena penggunaan katalitik konverter.

Tabel 2. Kebijakan mengenai bahan bakar di sektor transportasi [3][5]

| Tahun | Bahan Bakar | Spesifikasi/keterangan | |
|-------|-------------------|------------------------|---|
| 1979 | Minyak Solar | - | angka setana ≥ 45 sulfur ≤ 0.5 % berat |
| | Bensin Premium | RON 88 | TEL ≤ 2.5 ml/AG |
| | Bensin Super | RON 98 | TEL ≤ 3.0 ml/AG |
| 1986 | CNG | - | Taksi dan Bus |
| 1990 | Bensin Premium | RON 88 | TEL ≤ 1.5 ml/AG |
| | Bensin Premix | RON 92 | TEL ≤ 1.5 ml/AG + MTBE |
| 1994 | Bensin Premix | RON 94 | TEL ≤ 1.5 ml/AG + MTBE |
| 1995 | Bensin Premium TT | RON 92 | tanpa TEL |
| | Bensin Super TT | RON 95 | tanpa TEL |
| | LPG | - | Otogas |

Catatan : 1. AG = American Gallon
2. RON = Research Octane Number

3. TEL = Tetra Ethyl Lead
4. MTBE = Methyl Tertiary Butyl Ether

Tabel 3. Pengurangan emisi polutan kendaraan bermotor [1]

| | Perkiraan pengurangan dalam % Dibandingkan dengan DNC | | | |
|-----------------------------------|--|-----|-----------------|-----|
| | NO ₂ | VHC | SO ₂ | SPM |
| Katalitik konverter | 85 | 85 | 100 | - |
| Mesin diesel yang beremisi rendah | 10 | 10 | ≤ 45 ** | 20 |

* Pengurangan emisi karena proses desulfurisasi di kilang

** Pengurangan emisi karena proses desulfurisasi dari minyak diesel import (S = 0.2 % berat)

Dengan skenario ERC beberapa rekomendasi untuk mengurangi emisi polutan dapat diajukan sebagai berikut :

4.1. Penggunaan Teknologi Pengurangan Emisi

Teknologi yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas buang adalah penggunaan katalitik konverter pada kendaraan yang berbahan bakar bensin dan penggunaan mesin diesel yang beremisi rendah. Beberapa negara maju telah melakukan penelitian serta menggunakan katalitik konverter untuk mengurangi emisi NO_x, CO dan VHC dari gas buang kendaraan yang menggunakan BBM. Pemasangan katalitik konverter untuk mobil baru dapat menurunkan emisi NO_x, CO dan VHC sebesar 90 %. Persentasi penurunan emisi NO_x dapat berkurang sampai menjadi 70 % untuk mobil yang sudah beroperasi lebih dari 80.000 km. Katalitik konverter ini hanya bisa diterapkan untuk kendaraan yang menggunakan BBM yang

tidak mengandung Pb (tanpa TEL). Biaya tambahan untuk pemasangannya adalah sebesar 5 % dari rata-rata harga mobil.

4.2. Penetapan Standar Emisi dan Kualitas Udara

Penetapan suatu standar yang berupa undang-undang atau surat keputusan diperlukan sebagai upaya untuk pengendalian pencemaran. Sampai saat ini sudah ada Undang-Undang Nomor 4 tahun 1982 tentang Pokok-Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup, Keputusan Menteri KLH tahun 1988 tentang Pedoman Baku Mutu Lingkungan, Keputusan Menteri KLH tahun 1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak dan untuk DKI Jakarta ada SK Gubernur tahun 1996 tentang Baku Mutu Udara Ambien dan Tingkat Kebisingan. Dengan adanya standar ini diperlukan pelaksana pengawasan sehingga baku mutu yang telah ditetapkan dapat tercapai.

4.3. Meningkatkan Efisiensi dan Konservasi Energi

Dengan meningkatkan efisiensi penggunaan energi maka energi yang dibutuhkan per unit output akan berkurang sehingga akan mengurangi besarnya emisi per unit operasi

- memberikan pajak yang besar bagi penggunaan teknologi yang lebih banyak menghasilkan polutan.
- memberikan insentif yang dapat berupa bantuan investasi untuk menerapkan teknologi bersih lingkungan.

Table 4. Emisi gas buang untuk kendaraan bermotor [2]

| Polutan | g/km | | |
|---------|--------|-----|-----|
| | Bensin | LPG | BBG |
| CO | 96 | 7,2 | 4,8 |
| VHC | 12 | 6,6 | 1,6 |
| NOx | 3,6 | 3,6 | 1,2 |
| Pb | 0,09 | 0 | 0 |

kendaraan tiap kilometer. Peluang untuk meningkatkan efisiensi dan konservasi masih terbuka untuk sektor transportasi.

4.4. Substitusi Bahan Bakar

Penggunaan BBG dapat mengurangi dampak lingkungan karena mempunyai koefisien emisi yang jauh lebih rendah dibandingkan BBM. Dari Tabel 4 terlihat bahwa dengan menggunakan BBG emisi CO dapat diturunkan 95 % dari emisi kendaraan berbahan bakar bensin. Sedangkan emisi VHC dapat diturunkan 87 % dan emisi NO_x dapat diturunkan 67 %.

4.5. Pengurangan Ketidakhayuan Bahan Bakar

Untuk membuat bahan bakar bersih lingkungan dapat dilakukan dua cara yaitu : desulfurisasi minyak diesel dan minyak tanah di kilang khususnya untuk minyak mentah import serta membuat bensin tanpa TEL supaya dapat digunakan katalitik konverter pada kendaraan berbahan bakar bensin.

4.6. Penggunaan Kebijakan Bidang Perekonomian

Kebijakan dalam bidang perekonomian telah digunakan di negara-negara maju untuk pengendalian lingkungan hidup. Kebijakan tersebut dapat berupa pajak dan insentif, seperti :

- pajak yang besarnya tergantung dari emisi yang ditimbulkan.
- pajak barang atau sumber energi yang besarnya tergantung dari karakteristik lingkungan dari barang atau sumber energi tersebut, misalnya kandungan belerang.

4.7. Sanksi untuk Pengendalian yang Efektif

Sanksi bagi pelanggar ketentuan merupakan alat yang efektif untuk pengendalian pencemaran. Kendaraan bermotor harus dioperasikan dengan benar dan konsisten sehingga emisi yang ditimbulkan tidak melebihi standar yang diperbolehkan. Unjuk kerja dari kendaraan bermotor harus diperiksa secara periodik. Sanksi bagi pelanggar ketentuan dapat berupa pencabutan surat ijin mengemudi atau sanksi ekonomis bagi industri yang memproduksi kendaraan bermotor yang tidak memenuhi standar.

4.8. Penerangan dan Pendidikan

Penerangan kepada masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan hidup serta penerangan tentang cara-cara yang tepat untuk mengurangi emisi perlu dilakukan. Program ini sangat berguna untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan lingkungan hidup. Lebih jauh dapat dilakukan pendidikan atau pelatihan untuk berbagai lapisan masyarakat.

5. KESIMPULAN

Dengan skenario DNC penggunaan energi di sektor transportasi untuk jangka panjang akan dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan akibat emisi gas buang. Pencemaran lingkungan tersebut dapat dikurangi dengan menerapkan teknologi baru untuk kendaraan bermotor. Teknologi yang bisa diterapkan untuk mengurangi emisi khususnya yang berupa emisi NO_x, CO dan VHC adalah : penggantian BBM ke BBG, pemasangan katalitik konverter pada kendaraan

berbahan bakar bensin dan penggunaan mesin diesel yang beremisi rendah. Teknologi ini diterapkan pada skenario ERC sehingga dapat mengurangi emisi NO₂, SO₂, SPM dan VHC. Peluang terbesar untuk mengurangi emisi adalah penggunaan katalitik konverter dan penggunaan mesin diesel yang beremisi rendah karena BBM masih tetap merupakan bahan bakar utama untuk sektor transportasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Manfred Kleeman (Editor), *Energy Use and Air Pollution in Indonesia*, Avebury Studies in Green Research, 1994.
2. PTE, *Laporan Tim Kecil Pengkajian Kemungkinan Pemanfaatan CNG bagi Kendaraan Bermotor di Indonesia*, Jakarta, 1990.
3. P.L. Puppung, W. Kaslan dan W. Wiromartono, *Penggunaan Bahan Bakar Gas untuk Transportasi dengan Tingkat Polusi Rendah*, Dipresentasikan pada Seminar Pengendalian Pencemaran Udara Akibat Gas Buang Kendaraan Bermotor, Departemen Perhubungan, Jakarta, 1991.

4. Dieter Kattge and Hans-Werner Seffler, *Exhaust Systems for Motor Vehicles : Catalytic Converters for Otto Cycle Engine*, Verlag Moderne Industrie, Germany, 1991.
5. Buletin Energi KNI WEC, Maret 1996.

RIWAYAT PENULIS



Agus Sugiyono lahir di Klaten tanggal 29 Juli 1963. Menamatkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Bandung dan S2 di Science University of Tokyo, Jepang. Saat ini bekerja sebagai peneliti di Direktorat Teknologi Energi, BPP Teknologi. Penulis juga menjadi anggota Komite Nasional Indonesia - *World Energy Council*.