

TINGKAT URGENSI PENGUJIAN POLUSI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DI INDONESIA

Toto Hardianto⁽¹⁾, Aryadi Suwono⁽¹⁾, Suyitno⁽²⁾

⁽¹⁾Lab. Termodinamika PPAU-IR-ITB

⁽²⁾Alumni Jurusan Teknik Mesin ITB

Ringkasan

Hingga saat ini, Indonesia belum mempunyai standar uji dinamik polusi gas buang kendaraan bermotor yang didasarkan pada kondisi lalu-lintas dan iklim Indonesia. Di lain pihak, masalah polusi udara di kota-kota besar di Indonesia saat ini berada pada tingkat yang mengkhawatirkan.

Hasil-hasil penelitian yang dilakukan oleh instansi terkait (termasuk ITB) menunjukkan bahwa polusi udara di Jakarta dan beberapa kota besar lainnya dihasilkan oleh efek samping dari aktivitas transportasi, industri, domestik, dan pembakaran sampah. Dari keempat aktivitas tersebut, **transportasi (kendaraan bermotor)** menempati urutan teratas. Jadi penanganan masalah polusi udara akan lebih efektif bila dikonsentrasikan pada polusi gas buang dari transportasi, yaitu dengan jalan mengadakan penelitian intensif menuju ke arah standar uji dinamik polusi gas buang didasarkan atas kondisi Indonesia.

Melalui penerapan standar uji dinamik polusi gas buang yang tepat, diharapkan dapat membantu pemantauan dan pengendalian tingkat polusi udara di kota-kota besar pada khususnya, dan di daerah-daerah di seluruh Indonesia pada umumnya, sehingga kadar polusi udara di Indonesia dapat ditekan di bawah batas ambang yang membahayakan kesehatan dan kelestarian lingkungan.

Abstract

Until now, Indonesia does not have any dynamics exhaust pollution test standard, which is customized to Indonesian traffic and climate. On the other hand, the air pollution problem in Indonesian big cities has reached a critical level.

Some researches done by some institutions (including ITB) show that the air pollution level in Jakarta and some other big cities is mainly caused by transportation, industry, domestic, and trash burning. Among those four pollution sources, transportation (motorized vehicles) is the most significant. Therefore, in order to solve the air pollution problem effectively, it has to be started from the transportation sector, and it is very important to do an intensive research which leads to an establishment of a test standard for exhaust gas pollution that is designed based on Indonesian condition.

The application of a suitable dynamics exhaust gas pollution test standard is expected to support the pollution monitoring and control activities all over Indonesia, especially in big cities, so that the Indonesian air pollution can be reduced and maintained in a safe level.

Keywords: polusi, udara, baku mutu, uji, emisi, siklus, kendaraan, gas buang, BMI.

1. PENDAHULUAN

Kekhawatiran terhadap polusi udara mulai dirasakan secara serius sejak terjadi kasus smog di London tahun 1952 selama seminggu yang telah menyebabkan 4000 kematian [1,2]. Kasus smog juga menyebabkan kematian di Donora dekat Pittsburg, USA tahun 1948 dan kota Meuse Valley, Belgia tahun 1930². Pada tahun 1989 diperkirakan lebih dari setengah pepohonan di Jerman menderita perontokan daun akibat hujan asam [1].

Beberapa akibat polusi udara di luar negeri yang sudah kritis tersebut memicu Lab. Termodinamika PPAU ITB melakukan penelitian polusi gas buang kendaraan bermotor di Indonesia. Penelitian ini berusaha menelusuri keadaan polusi udara, mencari sektor yang paling berpengaruh terhadap polusi udara, sebab-sebabnya dan mengusulkan alternatif pemecahan untuk

membatasi polusi dengan menentukan standar uji polusi gas buang kendaraan bermotor yang "sebaiknya" digunakan di Indonesia. Daerah di Indonesia yang dijadikan sampel adalah Jakarta, Bandung, Semarang, dan Surabaya. Sedangkan tingkat polusi akan dibandingkan dengan baku mutu Indonesia (BMI), batas WHO, kota/negara lain, dan batas kesehatan makhluk hidup.

2. KONDISI POLUSI UDARA DI INDONESIA

Walaupun konsentrasi polutan di beberapa daerah Indonesia umumnya masih di bawah baku mutu Indonesia (BMI), tetapi konsentrasi polutan pada beberapa lokasi sudah melampaui BMI atau batas WHO. Artinya kecenderungan polusi di Indonesia terkonsentrasi pada daerah-daerah yang menjadi pusat pembangunan seperti Jakarta, Bandung, Semarang, dan Surabaya.

Tabel 1 Kandungan Pb dalam darah orang dan sayuran [3]

Sampel	Jenis	Konsentrasi yang ditemukan	Ambang Batas
Sayuran (mg/kg)	Daun kangkung	29,9	2,0
	Batang	15,5	
Darah Orang (mg/100 ml)	Pengemudi bis	0,025	0,030
	Pelajar	0,015	
	Penduduk di kawasan kumuh	0,093	
	Pekerja pabrik (Gresik)	0,033	

Penelitian UNEP tahun 1996 menunjukkan bahwa pencemaran udara Jakarta berada di urutan ketiga dunia setelah Mexico dan Bangkok [4]. Hasil penelitian dari PSL-UI di Jakarta tahun 1994 timbal banyak terkandung dalam sayuran di tepi jalan di Jakarta dan sudah 14 kali baku mutu Ditjen POM [5] (lihat tabel 1). Penelitian lain menunjukkan bahwa kandungan HbCO dan Pb pada sopir, pedagang kaki lima dan polisi hampir dua kali dibanding penduduk rata-rata [6].

Terhadap polutan karbon monoksida, konsentrasi CO di daerah Glodok-Jakarta tahun 1986 [6] sudah 1,1 kali BMI. Konsentrasi CO di Semarang [6] seperti jalan Siliwangi, RSUP Kariadi, Jatingaleh, dan Simpang Empat masing-masing sudah 9,6 kali, 10,5 kali, 11 kali, 13,9 kali dari London tahun 1980 [7]. Konsentrasi CO pada 6 lokasi di Bandung tahun 1995 [8] (Sindanglaya, Arjuna, Terminal Cicaheum, Pungkur, dan Kompleks IPTN) sudah lebih tinggi dibanding di London tahun 1980 [7].

Terhadap polutan oksida nitrogen, konsentrasi NOx di Jakarta [8] bulan Januari 1994, November 1994, dan Juli 1996 sudah 1,50 kali, 1,12 kali, dan 1,66 kali dari BMI. Penelitian pada 5 jalan di Jakarta tahun 1992 [4], konsentrasi NOx berkisar antara 0,053 ppm (jalan Casablanca) - 0,125 ppm (jalan Jendral Sudirman) artinya sudah > BMI. Dari 10 lokasi di Jakarta tahun '94/'95 [8], konsentrasi NOx sudah > 0,5 kali BMI, 8 lokasi sudah > 0,8 kali BMI, dan 4 lokasi sudah > BMI. Penelitian di Bandung yaitu jalan Juanda-Martadinata dan Masjid Agung tahun 1989 [6], konsentrasi NOx dan NO₂ sudah > BMI. Dari 12 lokasi di Bandung tahun 1995 [8], konsentrasi NOx di 3 lokasi sudah > BMI. Dari 3 lokasi di Surabaya tahun 1986 [6], konsentrasi NOx di 2 lokasi > 0,75 kali BMI dan 1 lokasi sudah > BMI. Konsentrasi NOx di Pasar Baru-Jakarta(1994-95), Bandengan-Jakarta(1994-95) dan Thamrin-Jakarta(1994-95), Pasar Atom-Surabaya (1986) sudah 1,07 kali, 1,19 kali, 1,43 kali, dan 2,41 kali lebih tinggi dibanding konsentrasi tertinggi di USA tahun 1984 (Los Angeles) [6,7,8]. Dibandingkan konsentrasi NO₂ di London tahun 1985, konsentrasi NO₂ tertinggi di Bandung tahun 1995 (Terminal Cicaheum), konsentrasi tertinggi di Jakarta tahun 1994-95 (Thamrin), dan konsentrasi tertinggi di Surabaya tahun 1986 (Pasar Atom) masing-masing sudah 1,61 kali, 2,79 kali, dan 4,7 kali lebih tinggi [6,8,9].

Terhadap polutan debu, konsentrasi debu dari 10 lokasi di Jakarta tahun '94/'95 [8], 8 lokasi sudah > 0,75 kali BMI dan 4 lokasi sudah > BMI. Dari 12 lokasi di Bandung tahun 1995 [8], konsentrasi debu pada 4 lokasi sudah > 0,5 kali BMI, 1 lokasi sudah 0,75 kali BMI, dan 10 lokasi sudah > batas atas WHO. Konsentrasi debu di BMG Pusat pada bulan Juli 1993 [10 s/d 16] sudah 1,14 kali BMI. Konsentrasi debu tertinggi di Jakarta yang tercatat tahun 1994-95 (Bandengan) sudah 14,8 kali, 11,14 kali, 12,4 kali, 10,94 kali, dan 8,86 kali lebih tinggi dibanding Frankfurt(1989-94), Los Angeles(1989-94), Osaka(1989-94), Tokyo(1989-

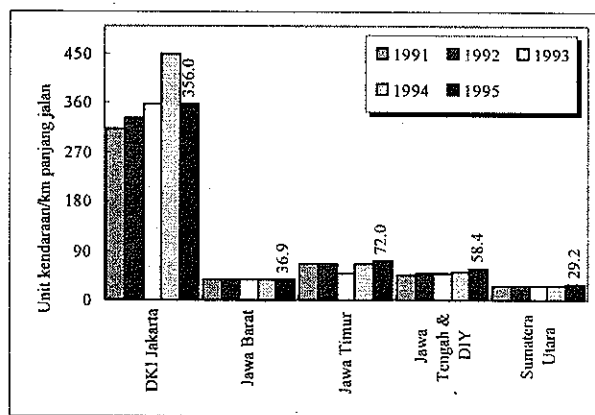
94), dan New York(1989-94) [8,17]. Konsentrasi TSP tertinggi yang tercatat di Bandung tahun 1995 (jalan Sukarno Hatta) sudah 5,16 kali, 3,88 kali, 4,32 kali, 3,81 kali, dan 3,08 kali dari Frankfurt(1989-94), Los Angeles(1989-94), Osaka(1989-94), Tokyo(1989-94), dan New York(1989-94) [8,17]. Konsentrasi debu di Bandengan-Jakarta (1994-95) dan Sukarno Hatta-Bandung (1995) juga lebih tinggi dari konsentrasi tertinggi di USA tahun 1984 (Phoenix) [7, 8].

Terhadap polusi oksida belerang, konsentrasi SOx di Jakarta tahun 1990-95 [8], 10 lokasi di Bandung tahun 1995 [8], dan 3 lokasi di Surabaya tahun 1986 [6] masih di bawah 0,10 kali BMI. Terhadap polusi oksida belerang, konsentrasi SO₂ tertinggi di Jakarta (Thamrin) sudah 1,06 kali dan 1,6 kali lebih tinggi dibanding Tokyo tahun 1985 dan Frankfurt tahun 1989-94 [8,9,17]. Konsentrasi SO₂ tertinggi tahun 1986 di Surabaya (Rungkut) dan sudah 1,37 kali, 1,47 kali, dan 2,22 kali lebih tinggi dari New York (1989-94), Tokyo (1985), dan Frankfurt (1989-94) [6,9,17].

Terhadap polusi timbal, konsentrasi Pb dari 11 lokasi di Jakarta(1994/95) [8] < 0,05 kali BMI, 11 lokasi > batas bawah WHO, dan 6 lokasi > batas atas WHO. Konsentrasi Pb di Jakarta(1990) sudah 10 kali Berlin (1982) [18]. Konsentrasi Pb di Pondok Gede-Jakarta(1994-95) 4,55 kali dan 18,2 kali dari Frankfurt(1985) dan Los Angeles(1989-94) [8,9,17].

3. SUMBER POLUSI UDARA DI INDONESIA

Sumber utama polusi CO (>95%), NOx (>55%), dan HC (>71%) di DKI Jakarta, Surabaya, Semarang, dan Bandung tahun 1991 adalah transportasi [8]. Prosentase ini lebih besar dibandingkan United Kingdom, Amerika dan seluruh dunia [19,20,21].



Gambar 1 Kepadatan kendaraan di beberapa propinsi di Indonesia(1994) [8,24]

Pada tahun 1991, Sektor transportasi menjadi sumber utama polusi partikel (46,05%) di DKI Jakarta, kedua di Bandung (27,43%), kedua di Semarang(41,25%), ketiga di Surabaya(12,60%) dan lebih tinggi dibanding seluruh dunia(13%) tahun 1990, di USA tahun 1970(14%), di Mexico tahun 1987 (9%) [8,19,22,23].

Sektor transportasi (26,67%) menjadi sumber kedua polusi SO_x tahun 1991 di Jakarta, ketiga di Bandung (12,56%) dan lebih tinggi dari dunia tahun 1990 (3%) dan USA tahun 1970 (4%) [8,19,22,25]. Pada tahun 1990, sumber Pb di Jakarta dan Surabaya seluruhnya (100%) dari transportasi [8]. Prosentase tersebut lebih tinggi dari USA tahun 1987 (37%) [26,27].

Kenyataan bahwa transportasi menjadi sumber utama polusi udara di Indonesia dapat dilacak dari tingkat kepadatan kendaraan yang tinggi di Jawa apalagi Jakarta [8,24] (gambar 1) dengan kondisi jalan yang jelek (60%) [28] dan tidak beraspal (54,6%) [28], ditambah pertumbuhan kendaraan (7,26%/th) tidak sebanding dengan penambahan panjang jalan (6,35%/th) [28,29,30,31].

4. JENIS KENDARAAN YANG MENJADI PENYEBAB UTAMA POLUSI UDARA

Sebagian besar kendaraan (68,7%) di Indonesia tahun 1995 adalah sepeda motor, 16,0% adalah mobil penumpang, 10,3% truk, dan 5,1% bus [8]. Data-data tersebut menunjukkan bahwa sepeda motor berpotensi besar menjadi sumber utama polusi udara di Indonesia, kemudian mobil penumpang, truk, dan bus. Tetapi kenyataannya tidak semua kendaraan dioperasikan di jalan, karena dari 51% perjalanan di Jakarta dengan bus, 27% dengan mobil, dan 22% lainnya [9]. Artinya karena bus dan mobil lebih sering digunakan, maka total polusinya menjadi lebih tinggi.

Dilihat dari konsumsi BBM terbanyak di Indonesia tahun 1985 adalah truk (34%), kemudian mobil pribadi (21%), dan sepeda motor (14%) [32]. Dilihat dari bahan bakar bensin, jenis kendaraan yang mengonsumsi bensin terbanyak tahun 1985 adalah mobil pribadi (43%), kemudian sepeda motor (31%), bus (12%), dan truk (11%) [32]. Artinya truk dan mobil pribadi lebih berbahaya dalam hal polusi udara karena mengonsumsi bahan bakar dan bahan bakar bensin lebih tinggi dibanding jenis kendaraan lain.

Dilihat dari Intensitas energi di Indonesia tahun 1985, yang paling boros adalah truk besar (0,3 l/km) lalu bus (0,25 l/km), mobil pribadi (0,1 l/km), dan sepeda motor (0,03 l/km) [32]. Artinya konsumsi bahan bakar/km dari truk besar dan bus paling tinggi sehingga perlu mendapat perhatian khusus. Dari data tersebut juga terlihat bahwa konsumsi bahan bakar dari mobil pribadi 3,3 kali dari sepeda motor sehingga mobil pribadi tetap menjadi prioritas dalam hal sumber polusi udara di Indonesia.

Dilihat dari kenaikan rata-rata sepeda motor di Indonesia tahun 1983-1995 adalah 7,06% < mobil penumpang (7,96%) [8, 33 s/d 38]. Sedangkan kenaikan rata-rata kendaraan di Indonesia tahun 1982-1995 sebesar 7,26%/tahun. Artinya dilihat dari pertumbuhan rata-rata, mobil penumpang menjadi lebih potensial dalam mengeluarkan total polusi khususnya untuk masa mendatang.

Jika dilihat dari polusi CO (prioritas I), emisi CO dari bahan bakar bensin > diesel [39 s/d 43]. Adanya fenomena ketidakseragaman campuran BB-udara tiap silinder menyebabkan emisi CO rata-rata meningkat [39,44]. Dilihat dari faktor emisi CO [45], pada bahan bakar bensin 281,2797 jauh lebih tinggi dibanding bahan bakar solar yaitu 36,4221. Jika diasumsikan sepeda motor banyak yang jenisnya 2 langkah dan mobil pribadi 4 langkah, maka emisi CO dari sepeda motor hampir sama dengan jenis mobil penumpang [46]. Artinya, dilihat dari polusi CO (prioritas I) yang dicurigai menyebabkan emisi CO yang besar adalah mobil penumpang disusul sepeda motor.

Jika dilihat dari polusi NO_x (prioritas II), emisi NO_x motor diesel (berat) > mobil penumpang(bensin) [47]. Emisi NO dari motor diesel untuk rasio kompresi yang sama hanya 1/2 - 1/3 dari motor bensin [41]. Total emisi NO_x motor 2 langkah < motor 4 langkah [48 s/d 50]. Dilihat dari faktor emisi NO_x [45], untuk BB bensin sebesar 7,6848 < BB solar sebesar 9,2103. Dari beberapa uraian di atas dapat disimpulkan bahwa truk dan bus menjadi dominan dalam emisi NO_x, kemudian mobil pribadi baru sepeda motor.

Jika dilihat dari polusi Pb (prioritas III), emisi Pb sebanding dengan konsentrasinya dalam bensin. Artinya jika dilihat dari polutan Pb, maka mobil pribadi lebih berbahaya dibanding sepeda motor. Jika dilihat dari polusi TSP (Prioritas IV), emisi partikel lebih banyak dikeluarkan oleh kendaraan berbahan bakar diesel dibanding bensin. Artinya truk dan bus menjadi perhatian utama dalam hal polusi TSP.

Jika dilihat dari polusi HC (Prioritas V), emisi HC dari motor bensin lebih banyak dibanding motor diesel [41,43,50]. Bahkan emisi HC dari motor diesel yang berat sekalipun masih lebih kecil (90-95%) dari motor bensin konvensional [47]. Sehingga dalam hal polutan HC yang lebih berbahaya adalah mobil penumpang dibanding sepeda motor. Tetapi jika dilihat dari jenis langkahnya, emisi HC motor 2 langkah > 4 langkah (bahkan dapat sampai 10 kalinya) [46,47,49,51]. Artinya jika sepeda motor diasumsikan berjenis 2 langkah sedangkan mobil penumpang berjenis 4 langkah, maka dalam hal emisi HC sepeda motor lebih berbahaya dibanding mobil penumpang. Sehingga dari dua kemungkinan tersebut baik mobil penumpang dan sepeda motor mempunyai potensi yang sama-sama berbahaya dalam polusi HC.

Data dari penelitian di Jakarta, Bandung, dan Bogor kecepatan rata-rata pada jam sibuk < 30 km/jam [52,53]. Sehingga jika sepeda motor dan mobil penumpang diasumsikan sama-sama dua langkah, maka emisi CO dari mobil penumpang > sepeda motor dan emisi NO_x dari mobil penumpang 2 langkah > sepeda motor 2 langkah [47].

5. STANDAR UJI GAS BUANG YANG "SEBAIKNYA" DIGUNAKAN DI INDONESIA

Terdapat 3 jenis siklus pengujian emisi gas buang yang telah dilakukan, yaitu:

1. Siklus FTP (Amerika). Karakteristik FTP adalah pengendaraan pada kecepatan tinggi dengan jalan-jalan yang panjang. Disamping itu karakteristik kendaraan di USA umumnya besar.
2. Siklus Eropa. Siklus steady ini digunakan banyak negara Eropa dengan pengendaraan pada kecepatan lebih rendah dibanding USA. Jalan-jalan di Eropa umumnya lebih pendek dibanding USA. Disamping itu volume kendaraan Eropa umumnya tidak sebesar di USA.
3. Siklus Jepang. Siklus ini digunakan oleh Jepang dan beberapa negara Asia. Karakteristik pengendaraan pada kecepatan yang lebih rendah dibanding USA tetapi masih lebih tinggi dibanding Eropa. Volume kendaraan di Asia pada umumnya < Eropa, apalagi USA.

Dari pengendaraan dan karakteristiknya terlihat bahwa kecepatan rata-rata di Jakarta, Bandung, Bogor < 30 km/jam lebih mirip dengan kecepatan pada jam-jam sibuk di London dan Paris (16,09 km/jam) dibandingkan kecepatan rata-rata di USA (1974) sebesar 88,5 km/jam [54]. Maka kondisi pengendaraan di Indonesia lebih cocok dengan siklus Eropa dibanding Amerika.

Negara pengeksport kendaraan ke Indonesia terbesar adalah Jepang, kemudian Jerman [33 s/d 38]. Jenis kendaraan yang beroperasi di Indonesia sebagian besar adalah produk Jepang (70%) [55]. Dari beberapa kecenderungan ini, maka disarankan Indonesia memilih standar Eropa dan Jepang dibanding standar USA.

Dilihat dari kondisi pengendaraan di Indonesia dengan jalan-jalan yang pendek, tingkat kepadatan kendaraan tinggi, dan kondisi jalan yang hanya setengahnya yang baik akan berpotensi besar menjadi penyebab kemacetan dan kecepatan pengendaraan yang rendah. Terjadinya kemacetan dan kecepatan pengendaraan yang rendah menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar dan emisi karena operasinya cenderung campuran kaya.

Dilihat dari umur, kendaraan di Indonesia sampai tahun 1995 termasuk tua yaitu 35%-lebih berumur > 10 tahun dan 50%- lebih berumur > 7 tahun [8, 33 s/d 38]. Padahal diketahui bahwa kendaraan tua dioperasikan pada campuran kaya supaya mesin tetap stabil.

Dilihat dari karakteristik siklusnya (lihat tabel 2), kecepatan rata-rata FTP > 11 mode Jepang > Eropa > 10 mode Jepang. Kecepatan maksimum

Tabel 2 Perbandingan karakteristik siklus Amerika, Jepang, dan Eropa [56,57,58]

Karakteristik	FTP 75	Eropa	11 Mode Jepang	10 Mode Jepang
Kecepatan rata-rata(km/jam)	34,10	18,7	30,6	17,7
Kecepatan maksimum(km/jam)	91,20	50	60	40
Prosentase idle(%)	17,9	31	21,7	26,7

FTP > 11 mode Jepang > Eropa > 10 mode Jepang. Prosentase idle, siklus Eropa > 10 mode Jepang > 11 mode Jepang > FTP. Maka dilihat dari kecepatan rata-rata, kecepatan maksimum, dan prosentase idle memilih siklus Eropa lebih sesuai dengan kondisi Indonesia dibanding siklus Jepang dan Amerika. Maksudnya, dengan memakai siklus Eropa diharapkan polusi CO (prioritas I) di Indonesia yang sudah kritis (karena umur kendaraan yang tua dan kecepatan pengendaraan yang rendah) dapat lebih diperketat.

6. KESIMPULAN

Keadaan polusi udara di Indonesia (khususnya di Jakarta, Bandung, Surabaya, dan Semarang) sudah pada tingkat yang mengkhawatirkan dan perlu segera mendapat penanganan serius. Jenis polutan udara yang tingkatnya sudah kritis adalah CO, NOx, Pb, TSP, dan HC. Sumber utama polusi udara di Indonesia adalah sektor transportasi. Penyebab utama polusi CO, NOx, Pb, dan HC di Indonesia adalah mobil penumpang di susul sepeda motor. Penyebab utama polusi TSP dan NOx di Indonesia adalah truk dan bus. Standar uji yang "sesuai" dan "sebaiknya" digunakan di Indonesia adalah siklus Eropa dibanding Jepang dan Amerika.

7. SARAN

Mengadakan penelitian karakteristik pengendaraan sebenarnya di Indonesia dalam hal kecepatan rata-rata, kecepatan maksimum, variasi idle, percepatan, dan perlambatannya. Mengurangi konsentrasi Pb dalam bahan bakar. Mengadakan penelitian bahan bakar alternatif yang bebas polusi, seperti: bahan bakar methanol, ethanol, BBG, MTBE, dll. Mengadakan penelitian metode pengontrolan emisi sebelum dan saat pembakaran seperti sistem pengapian, injeksi, campuran bahan bakar udara, ruang bakar, piston, katup, dll. Mengadakan penelitian metode pengontrolan emisi pasca pembakaran, seperti: EGR dan katalitik konverter. Mengendalikan jumlah kendaraan. Mengadakan sarana transportasi massal. Membenahi infrastruktur jalan dengan memperhatikan aspek polusi gas buang. Mengadakan penelitian manajemen lalu lintas dan tata kota untuk mencegah kemacetan. Mengadakan penelitian manajemen lalu lintas dan tata kota untuk mencegah kemacetan.

8. UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Proyek Penelitian Dikti-Depdikbud melalui Program Hibah Bersaing VI, dengan Nomor Kontrak: 70/P2IPT/DRPM/97/PHB VII/1 IV/97 tanggal 20 Mei 1997.

9. DAFTAR PUSTAKA

1. Soelaiman, T.A.F, Dr.Ir., "Dampak dari Berbagai Polusi Udara Terhadap Lingkungan", Kursus Aspek Polutan Gas Buang dari Proses Pembakaran Terhadap Lingkungan, Lab. Termodinamika PPAU ITB, Indonesia, 1993.
2. Peavy, Howard S., "Environmental Engineering", International Edition, McGraw-Hill, Singapura, 1985.
3. Darmono, "Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup", UI Press, Cetakan ke-1, Jakarta, Indonesia, 1995.
4. _____, "Membuat Jakarta Bersih dari Polusi Udara", Kompas Edisi: Minggu, 19 Januari 1997, Jakarta, Indonesia, 1997.
5. _____, "Madu dan Racun Bensin Bertimbal", Kompas Edisi: 7 November 1996, Jakarta, Indonesia, 1996.
6. Djajadiningrat, S. T. (Penyunting), "Kualitas Lingkungan di Indonesia 1990", Kantor Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Jakarta, Indonesia, 1990.
7. Bridgman, Howard, "Global Air Pollution, problems for the 1990s", John Wiley & Sons Ltd, Great Britain, 1994.
8. BPS, "Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 1995", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1996.
9. Faiz, Asif; Sinha, Kumares; Walsh, Michael, and Varma, Amiy, "Automotive Air Pollution: Issues and Options for Developing Countries", World Bank, Washington, D.C., USA, 1990.
10. Laporan Badan Meteorologi dan Geofisika Departemen Perhubungan RI Tahun X, Jakarta, Indonesia, 1996.
11. Laporan Badan Meteorologi dan Geofisika Departemen Perhubungan RI Tahun VIII, Jakarta, Indonesia, 1994.
12. Laporan Iklim, Cuaca, Gempa dan Polusi, BMG - Dep. Perhubungan RI, Tahun XIV, Jakarta, Indonesia, 1989.
13. Laporan Badan Meteorologi dan Geofisika Departemen Perhubungan RI Tahun VII, Jakarta, Indonesia, 1994.
14. Laporan Badan Meteorologi dan Geofisika Departemen Perhubungan RI Tahun VI, Jakarta, Indonesia, 1994.
15. Laporan Badan Meteorologi dan Geofisika Departemen Perhubungan RI Tahun VIII, Jakarta, Indonesia, 1995.
16. Laporan Badan Meteorologi dan Geofisika Departemen Perhubungan RI Tahun IX, Jakarta, Indonesia, 1995.
17. Hammond, Allen L. (Program Director), "World Resources, A Guide to the Global Environment, The Urban Environment 1996-97", New York, USA, 1996.
18. Coutrier, P.L (Deputi Bidang Pengembangan BAPEDAL), "Kebijaksanaan Dalam Penggunaan Energi yang Berwawasan Lingkungan", Hasil Lokakarya Energi 1994, Jakarta, Indonesia, 1995.
19. Tolba, Mostafa K., "Saving Our Planet. Challenges and Hopes", Chapman & Hall, United Nations Environment Programme, edisi 1, Hongkong, 1992.
20. Masters, Gilbert M., "Introduction to Environmental Engineering and Science", Cetakan ke-2, Prentice-Hall International, Inc, USA, 1991.
21. Harrison, R. M., "Pollution: Causes, Effects and Control", University of Lanchaster, London, Sept. 1982.
22. Krupnick, Alan J., "Measuring the Effects of Urban Transportation Policies on the Environment: a Survey of Models", World Bank, Washington, D.C., USA, 1992.
23. Cragg, Chris, "Cleaning up Motor Car Pollution: New Fuels and Technology", Financial Times Business Information Ltd, London, 1992.
24. BPS, "Statistik Indonesia 1991", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1992.
25. Cunningham, William P. & Saigo, Barbara Woodworth, "Environmental Science: A Global Concern", Wm. C. Brown Publishers, USA, 1990.
26. Matzoros, Athanasios & Vliet, Dirck Van, "A Model of Air Pollution From Road Traffic, Based on The Characteristics of Interrupted Flow and Junction Control: Part 1-Model Description", In: Transportation Research, Vol. 26 A, No. 4, Page 315-330, Pergamon Press, Ltd, Great Britain, 1992.
27. Jacoby, H. D., "Clearing The Air", Federal Policy on Automotive Emission Control, USA, 1973.
28. BPS, "Statistik Indonesia 1994", ISSN: 0126.2912/04400.9513, Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1995.
29. BPS, "Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 1985", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1986.
30. BPS, "Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 1987", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1988.
31. BPS, "Statistik Indonesia 1992", ISSN: 0126.2912/03300.9313, Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1993.
32. _____, "Sectoral Energy Demand in Indonesia", Government of Indonesia in Co-Operation with The Economic and Social Commissions for Asia and The Pacific, The United Nations Development Programme and The Government of France, Jakarta, Indonesia, November, 1989.
33. BPS, "Statistik Indonesia 1989", ISSN: 0126.2912/03300.9013, Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1990.
34. BPS, "Statistik Indonesia 1982", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1983.
35. BPS, "Statistik Indonesia 1987", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1988.
36. BPS, "Statistik Indonesia 1985", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1986.

37. BPS, "Statistik Indonesia 1991", Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1992.
38. BPS, "Statistik Indonesia 1995", ISSN: 0126.2912/04400.9613, Biro Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia, 1996.
39. Heywood, J. B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", McGraw Hill, International Editions, USA, 1988.
40. Flagan, Richard C. & Seinfeld, John H., "Fundamentals of Air Pollution Engineering", Prentice Hall, USA, 1988.
41. Watkins, L. H., "Air Pollution From Road Vehicles", First Edition, HMSO, London, 1991.
42. Apling, A. J., "Motor Vehicle Emission Control: Present Status and Future Possibilities", In: Chan, M. W. H., Hoare, R. W. M., Law, R. J. S. & Reed, S. B. (editor), Pollution in The Urban Environment: Polmet '85, Elsevier Applied Science Publishers, Ltd., England, 1987, page 149-157.
43. Howitt, J. S., "Particulate Control Technology for Light and Heavy Duty Diesel Powered Vehicles", In: Chan, M. W. H., Hoare, R. W. M., Law, R. J. S. & Reed, S. B. (editor), Pollution in The Urban Environment: Polmet '85, Elsevier Applied Science Publishers, Ltd., England, 1987, page 210-221.
44. Hardianto, T., Dr.Ir., "Usaha Pengurangan dan Pengontrolan Polusi Gas Buang", Kursus Aspek Polutan Gas Buang dari Proses Pembakaran Terhadap Lingkungan, Lab. Termodinamika PPAU ITB, Bandung, 1993.
45. Tjahyarini, Tjandra (NIM: 10485306), "Studi Pemodelan Penyebaran Pencemaran Udara dari Kendaraan Bermotor Menggunakan Teori Gauss", TA Jurusan Geofisika dan Meteorologi, FMIPA, ITB, Bandung, 1992.
46. White, Jeff J., Carrol, James N., Hare, Charles T. & Lourenco, Jacline G., "Emission Factors for Small Utility Engines", SAE No. 910560 In: Worldwide Emmisions Control Advancements, SAE SP-863, USA, 1991.
47. Faiz, Asif; Weaver, Christopher S. & Walsh, Michael P., "Air Pollution From Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions", World Bank, Washington, D. C., USA, 1996.
48. Carson, C. E., BEng., Kee, R. J., PhD. MSAE., Kenny, R. G., PhD. MSAE & Blair, G. P., DSc. FEng. FIMechE. FSAE., "The Reduction of Exhaust Emissions from Two-Stroke Engines", In: Worldwide Engine Emission Standards and How to Meet Them, Mechanical Engineering Publications Limited for the Institution of Mechanical Engineers, London, 1993, page 37-48.
49. Tamba, Shinichi; Yamamoto, Masaru; Yuasa, Tsuneyoshi & Yoshimizo, Isao, "Emission Reduction for Small Utility Two Stroke Engine", SAE No. 951767 In: SETC: Small Engine Technology Conference, SAE P-292, USA, 1995.
50. Franco, A., Martorano, L., Stan, C. & Eichert, H., "Development of Two Stroke Engines With Direct Injection", SAE No. 951776 In: SETC: Small Engine Technology Conference, SAE P-292, USA, Sept. 1995, Page 145-155.
51. Huang, Huei-Huay; Peng, Yu-Yin & Chiang, Wei-Li, "A Review of Technological Approaches for Reducing Exhaust Emission From Two Stroke Cycle Engine With In-Cylinder injection System", SAE No. 951775 In: SETC: Small Engine Technology Conference, SAE P-292, USA, Sept. 1995, Page 129-143.
52. Arismunandar, W., Bahrin, Rahmat K., Rokhyadi, Dadang & Utama, Hari, "Polusi Udara oleh Gas Buang kendaraan bermotor. Pemeriksaan di Beberapa Tempat Bandung dan Bogor", Laporan Research No. 1317274, Badan Research ITB, Bandung, Indonesia, Maret 1974.
53. Kingsley, Thomas G., Ferguson, Bruce W., and Bower, Blair T., "Managing Urban Environmental Quality in Asia", World Bank, Washington, D. C., USA, 1994.
54. Gakenheimer, Ralph A. (editor), "The Automobile dan the Environment", OECD, Amerika, 1978.
55. Tim Studi Kebijakan nasional IPTEK, "Studi Instrumen kebijakan nasional IPTEK Industri Angkutan di Indonesia", LIPI, Jakarta, Indonesia, 1980.
56. SAE, "SAE Surface Vehicle Emissions Standards Manual 1995 Edition", SAE HS-2400, USA, 1995.
57. Soelaiman, T.A.F., Dr.Ir., "Batas Polusi Udara yang Dapat Diterima oleh Lingkungan", Kursus Aspek Polutan Gas Buang dari Proses Pembakaran Terhadap Lingkungan, Lab. Termodinamika PPAU ITB, Bandung, Indonesia, 1993.
58. Bosch, R., "Automotive Handbook", Third edition, BOSCH, Jerman, 1993.