

DAMPAK DAN PENGENDALIAN HUJAN ASAM DI INDONESIA

ERNI. M. YATIM *

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan modern dan industrialisasi seperti sekarang ini, hampir semua sendi kehidupan selalu ditopang oleh teknologi canggih yang menjanjikan proses yang lebih efisien, hemat waktu dan tenaga. Karena pada kenyataannya, dalam kehidupan modern semua dituntut serba cepat, tapi belum tentu sehat. Ini berlaku diseluruh sektor kehidupan.

* Staf Pengajar Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Padang

Saat ini kita bertumpu pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin, solar dan premix. Memang kendaraan bermotor lebih bisa menjanjikan proses yang lebih efisien, hemat waktu dan tenaga, ditam bah daya angkut yang lebih banyak. Semua itu sesuai dengan tuntutan kebutuhan manusia dan kehidupan modern. Hanya satu yang tidak dijanjikan oleh teknologi modern yaitu proses yang lebih sehat.

Sampai saat ini, kendaraan bermotor merupakan salah satu penyebab pengotoran udara dengan persentase terbesar, disamping pabrik. Sehingga sulit bagi kita sekarang ini, berharap bisa menghirup udara bersih.

Gas buang kendaraan bermotor dan pabrik akan memberikan polutan seperti Sox, Nox, Co, Pb dan partikulat, serta pengaruh lain yaitu kebisingan. Gas limbah Sox dan Nox

Jurnal Kesehatan Masyarakat

di athmosfir mengalami reaksi kimia menjadi asam sulfat dan asam nitrat. Asam tersebut dapat turun kebumi sebagai hujan dan disebut Hujan Asam. Jakarta, Singapura, Kuala Lumpur, Bangkok dan Manila, misalnya, adalah kota-kota yang potensial mendapatkan hujan asam. Potensi ini bersumber pada perkembangan industri dan transportasi yang tinggi serta diperkuat oleh kondisi iklim, yaitu angin yang lemah, sehingga zat pencemar tidak disebar dan

diencerkan. Daerah yang mempunyai banyak industri atau / dan pusat pembangkit listrik perlulah diwaspadai, misalnya Banten bagian utara, Jabodetabek, Gresik, Cilacap dan Aceh (Soemarwoto, 1992). Dengan adanya rencana pengembangan industri di jalur utara Jawa Barat dan pembangunan jalan tol masalah pencemaran ini perlulah diperhatikan sejak dini. Tidak pula tertutup kemungkinan kita mendapatkan belerang dari luar negeri, misalnya dari RRC yang merupakan produsen SO₂ terbesar setelah Rusia dan Amerika Serikat. Belum ada data apakah SO₂ dan asam yang terbentuk dapat sampai ke Indonesia terbawa oleh angin yang menghembus dari daratan Asia ke Australia pada waktu daratan Asia mengalami musim dingin dan Australia musim panas ataukah sudah dideposisikan di laut Cina Selatan, misalnya sebelum sampai ke Indonesia

Pada tahun 1952, London menderita asbut (=asap + kabut, yaitu *smog* = *smoke* + *Fog*) yang berat yang disebutnya *black fog* (kabut hitam) dan dilaporkan 4.000 orang meninggal karena asbut tersebut. Yang terutama menghadapi risiko sakit dan meninggal ialah mereka yang berumur lanjut dan menderita penyakit kronik jantung dan paru-paru (Achmadi, 1992)

Sehubungan dengan hal tersebut, maka berikut ini dibahas mengenai pengertian hujan asam, dampak hujan asam dan pengendalian hujan asam.

HUJAN ASAM

Istilah hujan asam pertama kali digunakan oleh Robert A. Smith (1872) dalam Kupchella (1989) yang menguraikan tentang keadaan di Manchester, sebuah daerah industri dibagian utara Inggris. Hujan asam ialah turunnya asam dalam bentuk hujan. Hal ini terjadi apabila asam di udara larut dalam butir-butir air di awan. Jika hujan turun dari awan itu, air hujan bersifat asam. Asam itu terhujankan atau rain-out. Hujan asam dapat pula terjadi karena hujan turun melalui udara yang mengandung asam sehingga asam itu terlarut kedalam air hujan dan turun kebumi. Asam

*Staf Pengajar Politeknik Kesehatan Padang

itu tercuci atau wash-out. Hujan asam dapat terjadi di daerah yang sangat jauh dari sumber pencemaran.

Masalah hujan asam terjadi dilapisan atmosfer rendah, yaitu di troposfir. Asam yang terkandung dalam hujan asam ialah asam sulfat (H_2SO_4) dan asam nitrat (HNO_3), keduanya merupakan asam kuat. Asam sulfat berasal dari gas SO_2 dan asam nitrat dari gas NO_x .

SUMBER SO_2 DAN NO_x

Sekitar 50% SO_2 yang ada dalam atmosfer di seluruh dunia adalah alamiah, antara lain, dari letusan gunung dan kebakaran hutan yang alamiah. Yang 50% lainnya adalah antropogenik, yaitu berasal dari kegiatan manusia, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil (BBF) dan peleburan logam. Di daerah yang banyak mempunyai industri dan lalu lintas berat bagian SO_2 yang antropogenik lebih tinggi daripada 50%. BBF terbentuk jutaan tahun yang lalu dari makhluk hidup yang setelah mati mengalami proses fosilisasi. Semua makhluk hidup mengandung belerang dan belerang itu tinggal dalam BBF. Minyak mentah mengandung BBF antara 0,1% sampai 3% dan teroksidasi menjadi belerang dioksida (SO_2) dan lepas ke udara. Oksida belerang itu selanjutnya berubah menjadi asam sulfat (Sumarwoto, 1992).

Seperti halnya SO_2 , 50% NO_x dalam atmosfer adalah alamiah dan 50% antropogenik. Pembakaran BBF juga merupakan sumber terbesar NO_x sehingga di negara dengan industri maju bagian NO_x yang antropogenik lebih besar daripada yang alamiah.

Pada waktu pembakaran BBF, sebagian NO_x berasal dari nitrogen yang terkandung dalam BBF yang teroksidasi menjadi NO_x . Sebagian lagi berasal dari nitrogen yang terdapat dalam udara yang terdiri dari 80% gas nitrogen. Pembakaran BBF mengoksidasi 5-40% nitrogen dalam minyak berat dan 100% nitrogen dalam minyak ringan dan gas. Makin tinggi suhu pembakaran, makin banyak NO_x yang terbentuk (Soemarwoto, 1992).

Instalasi pembangkit listrik dan transpor dengan kendaraan bermotor merupakan sumber utama NO_x . Di negara sedang berkembang transpor merupakan sumber NO_x yang lebih besar daripada pusat pembangkit listrik (Saruji, 1995).

NO_x juga berasal aktivitas jasad renik tanah yang untuk kehidupannya menggunakan senyawa organik yang mengandung N. Oksida N itu merupakan hasil samping aktifitas jasad renik itu. Di dalam tanah pupuk N yang tidak terserap oleh tumbuhan juga mengalami perombakan kimia-fisik,

biologik dan menghasilkan oksida N. Karena makin banyak digunakan pupuk N, makin tinggi pula produksi oksida tersebut. Di dalam udara sebagian dari oksida N itu berubah menjadi asam nitrat (Achmadi, 1992).

Sumber asam nitrat yang lain adalah amoniak (NH_3). NH_3 sebenarnya bersifat basa, tetapi di dalam tanah sebagian NH_3 mengalami proses nitrifikasi menjadi asam nitrat. Sumber utama NH_3 adalah pertanian dan peternakan, yaitu pupuk dan kotoran ternak. NH_3 ialah gas yang tercium menyengat hidung pada waktu kita masuk kedalam kandang ternak ataupun WC. Di negara maju, 80-90% emisi NH_3 berasal dari sumber ini dan sisanya dari industri dan transpor, kotoran manusia dan hewan liar serta dari tanah. Kira-kira 35-45% nitrogen total dalam kotoran hewan lepas ke udara sebagai NH_3 . Emisi dari kotoran ternak diperkirakan 22-30 juta ton/tahun, (Achmadi, 1992).

Mengingat kotoran hewan merupakan sumber NH_3 yang penting, dapatlah dikatakan bahwa makin banyak peternakan, makin tinggi pula produksi asam nitrat. Karena itu, disamping dari pembakaran BBF untuk transpor dan industri, peternakan merupakan pula penyumbang hujan asam yang penting.

Pupuk N pun di dalam tanah mengalami proses mikrobiologi dan kimia fisik. Sebagian dari pupuk itu menguap sebagai NH_3 . Di daerah iklim sedang sampai 20% N urea dapat hilang sebagai NH_3 dan amonium sulfat sampai 15%. Di daerah tropik, sampai 40-60% N urea yang dipakai di sawah dapat hilang sebagai NH_3 . Kehilangan N itu dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain, pH tanah yang tinggi, kondisi kering dan panas serta angin yang kuat memperbesar kehilangan N tersebut.

Jurnal Kesehatan Masyarakat

DAMPAK HUJAN ASAM

Hujan asam berdampak terhadap kesehatan, hutan, pertanian, ekosistem akuatik dan material.

a. Kesehatan

Hujan asam mempengaruhi kesehatan melalui tiga cara, yaitu pertama efek jangka pendek karena menghirup udara yang tercemar berat; efek jangka panjang karena menghirup udara yang tercemar sedang atau ringan; efek tidak langsung karena ter-exposed pada logam berat seperti aluminium dan logam berat lain yang terbebaskan dari zarah tanah pada pH yang rendah, akumulasi logam berat melalui rantai makanan dan terlarutnya logam berat dari pipa

air yang terbuat dari timbal atau tembaga.

b. Hutan

Dampak terhadap hutan dan pertanian sebagian karena pH tanah turun. Penurunan pH tanah dan air danau dipengaruhi kemampuan tanah dan air untuk menetralkan asam tersebut. Daya netralisasi asam itu ditentukan oleh adanya zat yang dapat menetralkan asam, misalnya, kalsium karbonat (CaCO_3) dan humus. Jika ada kalsium karbonat ion H^+ bereaksi dengan zat itu dan diubah menjadi air, karbonat dan CO_2 .

Kerusakan hutan oleh hujan asam gejalanya berbeda dengan gejala kerusakan oleh kekeringan dan serangan hama atau penyakit. Kerusakan dan kematian hutan disebut Forest Dieback atau Waldsterben.

Kematian hutan mengakibatkan naiknya resiko terjadinya tanah longsor dan juga kelonggaran salju pada musim dingin, yang sangat berbahaya bagi penduduk dan wisatawan.

Proses terjadinya kerusakan dapat dikelompokkan menjadi enam, yaitu (1) stres umum, (2) penurunan pH tanah- keracunan aluminium, (3) peracunan oleh SO_2 , (4) kekurangan magnesium, (5) kelebihan hara atau nitrogen dan (6) zat organik pengatur tumbuh.

1) Stres Umum

Pencemaran udara telah menghambat fotosintesis dan immobilisasi hasil fotosintesis dengan pembentukan metabolit sekunder yang potensial beracun. Sebagai akibatnya akar kekurangan energi, karena hasil fotosintesis tertahan di tajuk. Sebaliknya tajuk mengakumulasi zat yang potensial beracun. Dengan demikian pertumbuhan akar dan mikoriza (jamur yang tumbuh secara simbiotik dengan akar) terhambat serta daun menguning dan rontok. Pohon menjadi lemah dan mudah terserang oleh penyakit dan hama serta mudah ambruk terkena angin.

2) Penurunan pH tanah-Keracunan Aluminium

Penurunan pH menyebabkan terlepasnya aluminium dari zarah tanah dan menimbulkan keracunan. Akar yang halus mengalami nekrosis sehingga penyerapan hara dan air terhambat. Hal ini menyebabkan pohon kekurangan air dan hara serta akhirnya mati.

3) Peracunan oleh Gas SO_2

Gas ini menyebabkan daun menjadi kuning dan coklat.

4) Kekurangan magnesium

Pada analisis daun menunjukkan kadar magnesium yang rendah. Magnesium adalah sebuah unsur hara yang esensial sehingga kadar yang rendah dalam daun itu menunjukkan, pohon menderita kekurangan magnesium. Kekurangan magnesium disebabkan oleh pencucian magnesium dari tanah karena pH yang rendah dan rusaknya daun. Kerusakan daun menyebabkan pula tercucinya magnesium dari daun.

Jurnal Kesehatan Masyarakat

5) Kelebihan hara

Udara yang tercemar juga mengandung unsur hara sehingga dalam jangka waktu yang panjang terjadilah kelebihan unsur hara, terutama nitrogen. Kelebihan nitrogen memacu pertumbuhan yang berlebihan sehingga pohon membutuhkan lebih banyak unsur hara yang lain dan karena itu dapat menyebabkan kekurangan unsur hara tertentu. Kelebihan nitrogen juga menyebabkan penghambatan atau nekrosis pada mikoriza; kenaikan kepekaan terhadap suhu dibawah titik beku; kenaikan kerentanan terhadap penyakit jamur pada akar; perubahan dalam nitrifikasi dan penambatan nitrogen dari udara.

6) Zat organik pengatur tumbuh

Contoh zat ini ialah etilen dan anilin. Pencemaran ini berasal dari industri yang memproduksi berjenis pestisida, herbisida dan zat pengatur tumbuh. Gejala peracunan oleh zat itu ialah daun menjadi berwarna coklat, rontoknya daun yang masih berwarna hijau dan kematian pohon dewasa.

Pengamatan menunjukkan adanya kandungan NH_4 dan aluminium lebih tinggi di hutan yang mengalami kerusakan daripada yang sehat dan kandungan Mg, Ca dan Kalium yang lebih rendah. Dalam keadaan demikian hutan yang rusak mengalami kelebihan nitrogen sehingga pertumbuhannya dipacu, sedangkan unsur hara Mg, Ca dan K tidak mencukupi untuk memenuhi laju pertumbuhan yang tinggi itu (ingat hukum minimum). Hutan itu juga mengalami keracunan aluminium.

c. Pertanian

Hasil padi dapat turun sampai 30% karena hujan asam. Karena besarnya laju pertumbuhan industri dan transpor, ada kemungkinan telah terjadi kenaikan kadar SO_2 sampai pada kadar yang menyebabkan keracunan kronik dan penurunan hasil pertanian tanpa

adanya gejala morfologik dan kasat mata pada tanaman.

d. Ekosistem akuatik

Hujan asam yang berkepanjangan akan mempengaruhi pH air ekosistem akuatik (Kupchella, 1989). Karena kehidupan organisme hidup akuatik sangat dipengaruhi oleh pH air tempat hidupnya, hujan asam mempunyai pengaruh yang besar terhadap biologi ekosistem akuatik.

Hujan asam menurunkan populasi ikan, tumbuhan akuatik dan jasad renik. Menjadi asamnya air danau dapat juga menyebabkan kepunahan jenis. Di samping efeknya terhadap pH, hujan asam juga memperkaya danau dengan unsur hara, khususnya nitrogen. Sebagai akibatnya dapatlah terjadi apa yang disebut eutrofikasi, yaitu penyuburan perairan. Eutrofikasi menimbulkan kesulitan, karena terjadinya pertumbuhan plankton yang berlebihan sehingga plankton itu saling meneduhi dari sinar matahari dan terjadilah kematian massal plankton (Odum, 1996). Jika ini terjadi oksigen dalam air habis terpakai dalam proses pembusukan biomassa yang mati itu dan mengakibatkan kematian ikan dan organisme.

e. Material

Hujan asam mempunyai dampak penting terhadap berbagai jenis material. Logam, bangunan baru, keramik dan gelas, cat, kertas, bahan fotografi, tekstil, kulit dan karet terpengaruh oleh oksida belerang, oksida nitrogen dan zat pencemar udara lainnya. Sebagian kerusakan ini disebabkan oleh deposisi kering asam sulfat yang berasal dari transpor dalam kota dan dari industri.

PENGENDALIAN HUJAN ASAM

Usaha untuk menanggulangi pencemaran dari pembakaran BBF di pabrik dan instalasi listrik adalah dengan membangun cerobong asap yang tinggi. Dengan cerobong yang tinggi itu daerah sekitar pabrik dan pusat pembangkit listrik menderita sedikit atau bahkan bebas dari pencemaran. Tetapi, zat pencemar itu terbawa oleh angin ke tempat yang jauh. Jika jumlah zat pencemarnya sedikit, cara ini baik karena dengan penyebaran itu terjadi pengenceran zat pencemar. Akan tetapi, dengan makin banyaknya zat pencemar yang diproduksi, efek pengenceran tidak lagi cukup sehingga daerah yang jauh akhirnya menderita juga. Jadi, cerobong tinggi sebenarnya mempunyai efek membuang zat pencemar ke halaman tetangga.

Mengendalikan hujan asam ialah menggunakan bahan bakar yang mengandung sedikit zat pencemar, menghindari terjadinya zat pencemar pada waktu pembakaran, menangkap zat pencemar dari gas buangan dan penghematan energi.

a. Bahan bakar dengan kandungan belerang rendah

Kandungan belerang dalam bahan bakar bervariasi. 11% cadangan minyak dunia, mengandung kandungan belerang yang tinggi antara 1,4-1,6%. Dengan demikian, dunia sebagian besar tergantung pada minyak yang mengandung kadar belerang yang tinggi.

Penggunaan gas alam akan mengurangi emisi zat pembentuk asam, akan tetapi kebocoran gas ini melalui pipa dan tempat lain menambah emisi metan, yang merupakan gas rumah kaca yang kuat. Usaha lain lagi ialah untuk menggunakan bahan bakar alternatif yang tidak mengandung belerang dan nitrogen, antara lain, metanol, etanol dan hidrogen. Akan tetapi, penggantian haruslah dilakukan dengan hati-hati, karena penggantian itu dapat memecahkan satu masalah, tetapi menimbulkan masalah lain. Contohnya ialah metanol yang pada pembakaran menghasilkan dua sampai lima kali lebih banyak formaldehid daripada pembakaran bensin. Zat ini diketahui mempunyai sifat karsinogenik (penyebab kanker). Apabila metanol itu diproduksi dari batu bara, proses produksi dan pembakaran metanol menghasilkan 20-160% lebih banyak CO₂ daripada bensin, yang juga merupakan gas rumah kaca.

b. Mengurangi kandungan belerang sebelum pembakaran

Kadar belerang dalam bahan bakar dapat dikurangi dengan menggunakan teknologi tertentu. Dalam proses produksi batubara, batubara biasa dicuci. Proses pencucian itu, yang bertujuan untuk membersihkan batubara dari pasir, tanah dan kotoran lain, juga mengurangi kadar belerang yang berupa pirit (belerang dalam bentuk besi sulfida) sampai 50-90%. Untuk mengurangi kadar belerang organik dalam batubara lebih sulit dan memerlukan teknologi yang lebih canggih.

c. Pengendalian pencemaran selama pembakaran

Beberapa teknologi untuk mengurangi emisi SO₂ dan NO_x pada waktu pembakaran telah dikembangkan. Salah satu teknologi itu ialah *lime injection in multiple burners* (LIMB). Dengan teknologi ini, emisi SO₂ dapat dikurangi sampai 80% dan NO_x 50%.

Dalam teknologi ini, kapur diinjeksikan ke dalam dapur pembakaran dan suhu pembakaran diturunkan dengan menggunakan alat pembakar khusus. Kapur akan bereaksi dengan belerang dan membentuk gypsum (kalsium sulfat dihidrat). Penurunan suhu mengakibatkan penurunan pembentukan NO_x , baik dari nitrogen yang ada dalam bahan bakar maupun dari nitrogen udara.

Pengendalian setelah pembakaran

Zat pencemar dapat pula dikurangi dari gas limbah hasil pembakaran. Teknologi yang sudah banyak dipakai ialah *flue-gas desulfurization* (FGD). Prinsip teknologi ini ialah untuk mengikat SO_2 di dalam gas limbah di cerobong asap dengan absorben, yaitu yang disebut *scrubbing*. Dengan cara ini, 70-95% SO_2 yang terbentuk dapat diikat. Kerugian cara ini ialah terbentuknya limbah. Akan tetapi, limbah itu dapat pula diubah menjadi gipsum yang dapat digunakan dalam berbagai industri. Sebuah cara lain ialah untuk menggunakan amonia sebagai zat pengikatnya sehingga limbah yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pupuk.

Cara khusus untuk mengurangi emisi NO_x ialah dengan Reduksi Katalitik Selektif (Selective Catalytic Reduction = SCR). Dengan cara ini 80 – 90 % NO_x diubah menjadi nitrogen elementer yang dapat dilepas ke udara dengan tidak menimbulkan masalah. Akan tetapi SCR lebih mahal dari pada penggunaan pembakaran khusus dengan suhu rendah.

Perhatian juga harus diberikan pada pencemaran yang disebabkan oleh transpor, karena transpor merupakan sumber 33 – 50 % dari pencemaran total. Metode yang paling banyak digunakan ialah perubahan katalitik (Catalytic Converter). Akan tetapi alat ini hanya berguna pada kendaraan dengan BBM benzin dan tidak pada mesin diesel. Alat ini juga tidak dapat digunakan pada benzin yang mengandung timbal (Pb) sehingga tidak dapat digunakan pada negara yang masih menggunakan bensin ini, seperti di Indonesia. Namun karena Timbal merupakan zat pencemar yang beracun, oleh negara maju kendala ini justru dimanfaatkan untuk mengurangi pencemaran Pb dengan memproduksi benzin tanpa timbal. Beberapa negara malahan melarang penggunaan benzin dengan Pb. Perubahan catalytic yang dipasang pada knalpot menggunakan campuran platinum dan rhodium sebagai katalisator. Pengubah itu mengubah CO (karbon monoksida) dan HC (hidrokarbon) menjadi Carbon dioksida dan air serta mereduksi NO_x menjadi gas nitrogen.

Dengan alat ini emisi CO, HC, dan NO_x dapat dikurangi sampai 90 %. Kelemahan pengubah ini ialah alat itu rumit dan memerlukan pengendalian yang baik campuran udara/bahan bakar pada pembakaran, dan alat ini juga cukup mahal.

Penghematan energi

Semua pengendalian pencemaran seperti diuraikan diatas mempunyai kelemahan yaitu hanya mempunyai efek terhadap SO_2 dan NO_2 dan tidak terhadap CO_2 yang merupakan gas rumah kaca yang penting. Semua cara pengendalian pencemaran memerlukan biaya. Penghematan energi pun memerlukan biaya. Tetapi penghematan energi mempunyai keuntungan bahwa efeknya juga mengurangi emisi CO_2 . Biayanya sangat bervariasi dari yang murah sampai yang mahal sehingga terdapat pilihan yang luas yang dapat dilakukan oleh rakyat kecil yang melarat sampai yang kaya. Pilihan tertentu bahkan menguntungkan rakyat kecil seperti pengembangan transpot massal umum (Budihardjo, 1997) dengan bus dan kereta api serta transpot dengan sepeda dan jalan kaki untuk jarak dekat. Oleh karena itu penghematan energi untuk menanggulangi pencemaran merupakan pilihan yang baik untuk negara sedang berkembang, termasuk Indonesia.

Yang dimaksud dengan penghematan energi bukanlah mengurangi penggunaan energi sehingga menghambat laju pembangunan, melainkan menaikan efisiensi energi sehingga per-unit didapatkan pelayanan yang lebih banyak.

Penutup

Pembakaran bahan bakar, terutama bahan bakar fosil (BBF) mengakibatkan terbentuknya asam sulfat dan asam nitrat. Asam itu dapat dideposisikan dalam bentuk hujan

pada hutan, tanaman pertanian, danau, dan gedung sehingga menyebabkan kerusakan dan kematian organisme hidup. Asam juga dicurigai mempunyai dampak negatif terhadap kesehatan.

bahan bakar sebelum dibakar, dan pilihan yang paling baik adalah mengikat dan mengubah zat pencemar dari gas pembuangan yang berasal dari menggunakan bahan bakar yang. Untuk mengurangi kerugian itu, perlu dilakukan usaha untuk mengurangi pencemaran udara dengan mempunyai kadar belerang rendah, mengurangi kadar belerang dalam pembakaran BBF dengan menghemat energi, seperti pengembangan transportasi masal umum.

Daftar Pustaka

1. Sumarwoto, Otto, 1992, Indonesia dalam Kancah Isu Lingkungan Global, Jakarta, PT. Gramedia Pustaka Utama.
2. Ahmadi, Umar Fahmi, 1992, (Pengaruh Perubahan Lingkungan Akibat) Pembangunan Terhadap Masalah Kesehatan Masyarakat, Jakarta, Lingkungan dan Pembangunan
3. Kupchella, charles E, Hyland Margaret C, 1989, Environmental Science, Living Withing The System Of Nature, Boston, Alyn and Bacon.
4. Saruji, Didik, 1995, Pencemaran Udara (SO₂, CO dan Pb) Oleh Gas Buang Kendaraan Bermotor, Konferensi Nasional XII PSL di Semarang 11 – 13 Januari 1995.
5. Odung, Eugene P, 1996, Dasar-dasar Ekologi (Indonesia Edition Yogyakarta, Gajah Mada University Press
6. Wardana, Wisnu Arya, 1995, Dampak Pencemaran Lingkungan, Yogyakarta, Andi Offset.
7. Budihardjo, Eko, 1997, Lingkungan Binaan dan Tata Ruang Kota, Yogyakarta, Andi Offset