

Sains Polusi

**Dampak Hujan Asam
terhadap Budidaya Ulat Sutera**



JEKTI PRIHATIN

SAINS POLUSI

Dampak Hujan Asam terhadap Budidaya Ulat Sutera

Karang Dalam, Cirebon, 2019

© 2019 oleh Penulis
Ditulis dan diterbitkan oleh

Universitas Islam Jember, Jember, 2019

Jember, Indonesia. No. 2019/001/2019

ISBN 978-602-71414-1-1

978-602-71414-1-1

978-602-71414-1-1

Halaman: 100, 101, 102, 103

978-602-71414-1-1

Halaman: 100, 101, 102, 103

Halaman: 100, 101, 102, 103

Halaman: 100, 101, 102, 103

Halaman: 100, 101, 102, 103

Halaman: 100, 101, 102, 103

Halaman: 100, 101, 102, 103

Halaman: 100, 101, 102, 103

Kata Pengantar

SAINS POLUSI

Dampak Hujan Asam terhadap Budidaya Ulat Sutera

x, 96 hlm, Tab., ilus., 15.5 cm

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Hak Cipta © Jekti Prihatin 2010
Hak Terbit pada UMM Press

Penerbitan Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang 65144
Telpon (0341) 464318 Psw. 140, Fax (0341) 460435
E-mail: ummpress@yahoo.com
<http://ummpress.umm.ac.id>

Cetakan Pertama Desember 2010

ISBN : 978-979-796-192-3

Lay-out : A.H. Riyantono
Cover Designer : Ridlo Setyono

Hak Cipta dilindungi Undang-undang. Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari penerbit. Pengutipan harap menyebutkan sumbernya.

Sanksi Pelanggaran pasal 72: Undang-undang No. 19 Tahun 2002, Tentang Hak Cipta:

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/ atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (Satu Juta Rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/ atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (Lima miliar rupiah)
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/ atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku yang berjudul "Sains Polusi, Dampak Hujan Asam terhadap Budidaya Ulat Sutera".

Di dalam tulisan ini disajikan kajian tentang hujan asam dan pengaruhnya terhadap tanaman murbei serta pengaruh tidak langsung terhadap mortalitas, kualitas kokon dan serat sutera *Bombyx mori* L. Secara garis besar isi dari buku sains polusi ini meliputi pengertian hujan asam, sejarah terjadinya hujan asam, sumber hujan asam, pengaruh hujan asam terhadap kehidupan tanaman, kehidupan hewan-hewan akuatik, hewan terestrial, burung, manusia, dan pengaruh yang lain. Fakta hujan asam di Indonesia dan laju peningkatan hujan asam di dunia, serta adanya amandemen akta udara bersih turut dibahas guna mengetahui seberapa jauh kepedulian negara-negara penyumbang sumber primer hujan asam untuk turut menurunkan sulfurdioksida dan nitrogenoksida di udara. Kearifan manusia dalam menyikapi polusi ini dikembangkan dengan adanya contoh-contoh konkrit bagaimana kita semua sebenarnya dapat berperan untuk mengurangi sumber primer penyebab hujan asam.

Buku ini juga membahas seluk-beluk tentang persuteraan, baik tentang budidaya murbei, maupun budidaya ulat sutera. Pengenalan yang baik tentang tanaman murbei dan ulat sutera *Bombyx mori* L. serta penanganannya diharapkan mampu meningkatkan pengetahuan dan keterampilan para petani sutera.

Tantangan yang dihadapi Indonesia dalam mengembangkan persuteraan alam diharapkan sedikit terbantu dengan adanya tulisan ini, khususnya dalam meningkatkan pengetahuan petani sutera dan adanya masukan untuk revisi SNI kualitas kokon serta bahan untuk menyusun SNI kualitas serat sutera dengan metoda yang sederhana sehingga dapat diterapkan di banyak tempat.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan orang lain yang dirangkum dalam buku ini diharapkan dapat membuka wawasan dan memberi inspirasi peneliti lain untuk mengembangkan penelitian tentang hujan asam, tanaman murbei dan ulat sutera.

Sebagian besar isi buku ini diambil dari disertasi penulis yang berjudul "Pengaruh pH Hujan Asam terhadap Kandungan Senyawa Biokimia Daun Murbei *Morus multicaulis* Perr., Mortalitas, Kualitas Kokon dan Serat Sutera *Bombyx mori* L. serta Pemanfaatannya dalam Penyusunan Buku Persuteraan".

Besar harapan penulis agar buku ini dapat berguna bagi para pembaca, khususnya kepada masyarakat industri yang berperan dalam peningkatan sumber primer terjadinya hujan asam, masyarakat persuteraan, dan pembaca lainnya yang peduli terhadap perubahan lingkungan.

Melalui kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para pembimbing disertasi: Prof. Dr. A. Duran Corebima, M.Pd; Prof. Dr. Ariffin, MP, Dr. Abdul Gofur, M.Si, Dr. Marthen Pali, M.Psi, Direktur Pascasarjana UM beserta staf, Kepala PSA Regaloh beserta staf, Kepala PPUS Candioto beserta staf, Kepala UPT Pengembangan Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura Dinas Pertanian Propinsi Jawa Timur beserta staf, Ketua Lab. Kimia UMM beserta staf, Bapak Sugito, Bu Mulyati, teman-teman sekelas, suami tercinta dan anak-anakku tersayang, kakak ipar, kakak dan adik yang banyak memberikan dukungan, baik moril maupun materiil serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Khusus untuk Dirjendikti- Program Hibah Disertasi 2010, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan pendanaan penelitian ini, dan untuk UMM Press atas kesediaannya menerbitkan buku ini.

Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Nopember 2010

Penulis

Jekti Prihatin

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	x
Bab 1. Hujan Asam	1
A. Pengertian Hujan Asam	2
B. Sejarah Terjadinya Hujan Asam	3
C. Sumber Hujan Asam	3
D. Pengaruh Hujan Asam terhadap Kehidupan Tanaman.	5
E. Pengaruh Hujan Asam pada Kehidupan Hewan- hewan Akuatik	9
F. Pengaruh Hujan Asam terhadap Hewan Terestrial dan Burung	9
G. Pengaruh Hujan Asam terhadap Manusia	11
H. Pengaruh yang Lain	12
I. Hujan Asam di Indonesia	13
J. Laju Peningkatan Hujan Asam	14
K. Amandemen Akta Udara Bersih	15
L. Pemecahan Masalah	16
BAB 2. Persuteraan Alam	19
A. Sejarah Perkembangan Budidaya Sutera	19

B.	Keunggulan Sutera	20
C.	Kualitas Kokon	20
D.	Tantangan Persuteraan Alam Indonesia	25
E.	Penelitian-penelitian tentang Sutera	27
BAB 3. Tanaman Murbei		29
A.	Taksonomi	29
B.	Budidaya Tanaman Murbei	31
C.	Hama dan Penyakit Murbei	33
BAB 4. Ulat Sutera <i>Bombyx mori</i> L.		35
A.	Taksonomi	35
B.	Deskripsi	36
C.	Tipe-tipe Ulat Sutera	38
D.	Daur Hidup	39
E.	Penyakit	42
F.	Pengaruh Lingkungan	43
G.	Pengaruh Daun Pakan	45
H.	Cara Budidaya Ulat Sutera	51
I.	Pemeliharaan Ulat Sutera	53
BAB 5. Pengaruh Hujan Asam terhadap Tanaman Murbei		59
A.	Hubungan Hujan Asam terhadap Nutrisi Mineral Tanah dan Tanaman	59
B.	Pengaruh Hujan Asam terhadap Kandungan Senyawa Biokimia Daun Murbei	62
BAB 6: Pengaruh Hujan Asam Secara Tidak Langsung terhadap Ulat Sutera		67
A.	Pengaruh Hujan Asam terhadap Mortalitas Larva	67
B.	Pengaruh Hujan Asam terhadap Kualitas Kokon	69
C.	Pengaruh Hujan Asam terhadap Kualitas Serat	74
Daftar Pustaka		79
Glosarium		87
Indeks		93

Daftar Tabel

Tabel 1. Pemupukan Murbei/ha/Tahun di Indonesia	32
Tabel 2. Tinggi Batang Utama Murbei	33
Tabel 3. Lama Perkembangan Larva <i>Bombyx mori</i> L.	40
Tabel 4. Banyaknya Daun yang Diberikan dan yang Dimakan Ulat Sutera	45
Tabel 5. Kandungan Asam Amino pada Daun Murbei dan Kebutuhan Minimum untuk Ulat Sutera	48
Tabel 6. Banyaknya Daun yang Diberikan pada Ulat Besar	56
Tabel 7. Kandungan Biokimia Daun Tua Murbei pada Lama Penyiraman 5 Minggu	63
Tabel 8. Klasifikasi Mutu Kokon pada Penelitian	71

Daftar Gambar

Gambar 1.	Proses Pembentukan Hujan Asam	4
Gambar 2.	Rata-rata pH Air Hujan Bulan Oktober, Nopember dan Desember 2008 di Indonesia	14
Gambar 3.	Struktur Satu Serabut Sutera	21
Gambar 4.	Kelenjar Sutera Larva <i>Bombyx mori</i> L.	21
Gambar 5.	Gambar Skematik Spinneret Ulat Sutera	22
Gambar 6.	Daerah Penempelan Filamen Kokon	23
Gambar 7.	Morfologi Ulat Sutera	36
Gambar 8.	Perbedaan Kaki Toraks dan Abdominal <i>Bombyx mori</i> L.	37
Gambar 9.	Perbedaan Ujung Kaudal Abdomen Ulat Jantan dan Betina <i>Bombyx mori</i> L.	38
Gambar 10.	Siklus Hidup Ulat Sutera <i>Bombyx mori</i> L.	39
Gambar 11.	Perkembangan Ulat Sutera <i>Bombyx mori</i> L.	41
Gambar 12.	Pengaruh Hujan Asam terhadap Pelepasan Mineral Tanah	63
Gambar 13.	Perbandingan Besar Tubuh Ulat <i>Bombyx mori</i> L. Instar 5	68
Gambar 14.	Diagram Batang Berat Kokon	70
Gambar 15.	Kokon Ujung Tipis yang Berlubang Saat Dipintal	73
Gambar 16.	Alat Pengukur Panjang Serat	74
Gambar 17.	Serat Kokon yang Tidak dapat Dipintal Berupa <i>Floss</i> dan <i>Pellade</i>	77

1

Hujan Asam

Pada umumnya orang menganggap bahwa polusi hanya akan menimbulkan kerusakan dan kerugian terhadap lingkungan. Polusi udara menyebabkan pengaruh langsung dan tidak langsung. Pengaruh langsung misalnya akan menyebabkan gangguan pernafasan dan memperpendek jarak pandang. Sedangkan pengaruh tidak langsung akan menyebabkan perubahan kimia tanah yang akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, ekologi perairan, yang selanjutnya akan mempengaruhi rantai makanan.

Sains-polusi sebagai kajian baru belum banyak diperhatikan. Sains polusi membahas bagaimana suatu polutan dapat dipandang dari sudut pandang yang netral, dapat merugikan atau menguntungkan. Manusia sebagai makhluk yang berakal dikaruniai otak untuk meneliti semua sisi suatu polutan supaya dapat dikendalikan, atau paling tidak dapat disikapi secara arif.

Umumnya, penelitian deposisi asam dihubungkan dengan pengaruh nitrogen oksida (NO_x) dan sulfurdioksida (SO_2) yang terjadi di Eropa dan Amerika Utara. Polutan udara (emisi) amonia (NH_3) dan akumulasi nitrogen (N) pada ekosistem terestrial memiliki potensi untuk menciptakan pengasaman pada ekosistem terestrial dan akuatik. Sulfur (S) dan akumulasi N pada lingkungan tidak hanya menghasilkan pengasaman tetapi juga memiliki pengaruh terhadap keseimbangan radiasi bumi, kemampuan mengoksidasi troposfer, keseimbangan nutrisi ekosistem dan kualitas air tanah. Bahkan, emisi mendatang akan

1

Hujan Asam

Pada umumnya orang menganggap bahwa polusi hanya akan menimbulkan kerusakan dan kerugian terhadap lingkungan. Polusi udara menyebabkan pengaruh langsung dan tidak langsung. Pengaruh langsung misalnya akan menyebabkan gangguan pernafasan dan memperpendek jarak pandang. Sedangkan pengaruh tidak langsung akan menyebabkan perubahan kimia tanah yang akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, ekologi perairan, yang selanjutnya akan mempengaruhi rantai makanan.

Sains-polusi sebagai kajian baru belum banyak diperhatikan. Sains polusi membahas bagaimana suatu polutan dapat dipandang dari sudut pandang yang netral, dapat merugikan atau menguntungkan. Manusia sebagai makhluk yang berakal dikaruniai otak untuk meneliti semua sisi suatu polutan supaya dapat dikendalikan, atau paling tidak dapat disikapi secara arif.

Umumnya, penelitian deposisi asam dihubungkan dengan pengaruh nitrogen oksida (NO_x) dan sulfurdioksida (SO_2) yang terjadi di Eropa dan Amerika Utara. Polutan udara (emisi) amonia (NH_3) dan akumulasi nitrogen (N) pada ekosistem terestrial memiliki potensi untuk menciptakan pengasaman pada ekosistem terestrial dan akuatik. Sulfur (S) dan akumulasi N pada lingkungan tidak hanya menghasilkan pengasaman tetapi juga memiliki pengaruh terhadap keseimbangan radiasi bumi, kemampuan mengoksidasi troposfer, keseimbangan nutrien ekosistem dan kualitas air tanah. Bahkan, emisi mendenatang akan

meningkat secara cepat terutama di negara-negara berkembang di Asia. Pada tahun 2020 diprediksi emisi SO_2 , NO_x dan NH_3 Asia akan menyamai atau lebih besar dari gabungan emisi dari Eropa dan Amerika Utara (Galloway, tanpa tahun).

A. Pengertian Hujan Asam

Hampir setiap orang pernah mendengar tentang hujan asam dan mengetahui bahwa hal tersebut merupakan sesuatu yang buruk. Akan tetapi, apa sebenarnya hujan asam itu? Apa efek hujan asam terhadap tanaman, hewan, manusia, dan apa yang dapat dilakukan untuk memecahkan masalah tersebut?

Hujan merupakan butir-butir air yang jatuh di permukaan bumi yang didahului dengan adanya pembesaran butir-butir awan, akibat adanya penggabungan butir-butir uap yang ada di atmosfer melalui proses kondensasi menjadi butiran-butiran air yang lebih besar. Hujan sebenarnya merupakan salah satu status air yang ada di udara yang mempunyai ukuran butiran cukup besar, yaitu di atas $200 \mu\text{m}$. Status uap air di udara pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi empat, yaitu status sebagai uap ($1,0 \mu\text{m}$), sebagai awan ($1-100 \mu\text{m}$), gerimis ($100-1000 \mu\text{m}$), dan hujan ($>1000 \mu\text{m}$) (Ariffin, 2003).

Berdasarkan proses terbentuknya, hujan terjadi akibat adanya pendinginan terhadap massa uap air yang didorong naik ke atas. Proses ini akan dipercepat bila suhu udara turun hingga di bawah titik embun, sehingga proses kondensasi menjadi semakin cepat dan akhirnya presipitasi akan terjadi (Ariffin, 2003).

Hujan dianggap bersifat asam oleh *World Meteorology Organization* (WMO) adalah jika pH-nya di bawah 5,6. Hujan secara alami bersifat asam (pH sedikit di bawah 6), karena karbon dioksida (CO_2) di udara yang larut dengan air hujan akan membentuk asam karbonat, suatu asam lemah (Re Velle & Re Velle, 1992). Jenis asam dalam hujan ini sangat bermanfaat karena membantu melarutkan mineral dalam tanah yang dibutuhkan oleh tumbuhan dan binatang.

Istilah hujan asam sebenarnya tidak tepat digunakan, oleh karena itu ilmuwan banyak yang menggunakan istilah "deposisi asam". Hal ini karena asam yang terbentuk akibat adanya polusi kembali ke bumi sebagai suatu padatan atau gas, tidak hanya sebagai hujan. Tergantung dari kondisi iklim, deposisi asam dapat pula berupa hujan, kabut, atau salju, dan dalam bentuk basah dikenal sebagai "presipitasi asam".

Deposisi asam ada dua jenis, yaitu deposisi kering dan deposisi basah. Deposisi kering ialah peristiwa terkenanya benda dan makhluk hidup oleh asam yang ada dalam udara. Ini dapat terjadi pada daerah perkotaan karena pencemaran udara akibat kendaraan maupun asap

pabrik. Selain itu deposisi kering juga dapat terjadi di daerah perbukitan yang terkena angin yang membawa udara yang mengandung asam. Biasanya deposisi jenis ini terjadi dekat dari sumber pencemaran. Deposisi basah ialah turunnya asam dalam bentuk hujan. Hal ini terjadi apabila asap di dalam udara larut di dalam butir-butir air di awan. Jika turun hujan dari awan tadi, maka air hujan yang turun bersifat asam. Deposisi asam dapat pula terjadi karena hujan turun melalui udara yang mengandung asam sehingga asam itu terlarut ke dalam air hujan dan turun ke bumi. Asam itu tercuci atau *wash out*. Deposisi jenis ini dapat terjadi sangat jauh dari sumber pencemaran (BMG, 2008).

B. Sejarah Terjadinya Hujan Asam

Masalah hujan asam bukanlah sesuatu hal yang baru. Hujan asam pertama kali dicatat pada abad ke-17, saat masyarakat mengamati pengaruh industrialisasi terhadap tanaman dan hewan. Pada tahun 1872, ahli kimia Scotlandia, Angus Robert Smith menulis buku "*Air and Rain: The Beginnings of Chemical Climatology*", di dalamnya ia menggunakan istilah "Hujan Asam", dan nama itu dipakai hingga sekarang. Masalah hujan asam semakin banyak dibicarakan sejak tahun 1960 saat seorang pemancing mencatat adanya pengurangan jumlah ikan yang drastis di danau Amerika Utara dan Eropa.

Kerusakan yang berat karena hujan asam tidak dapat dilokalisir di tempat dimana polusi itu berasal. Emisi atmosfer berlangsung selama beberapa hari dan melewati jarak yang sangat jauh tergantung pada kondisi angin dan iklim, sebelum jatuh sebagai hujan asam. Masalah yang disebabkan pada daerah industrialisasi ini dapat menimbulkan hujan asam di sekitar hutan atau danau, atau bahkan di daerah yang lebih jauh. Dipercaya bahwa sekitar 50% hujan asam yang terjadi di Kanada karena polusi itu akibat peristiwa di Amerika Serikat, dan pengaruh polusi industri di Inggris dapat dirasakan di Norwegia.

C. Sumber Hujan Asam

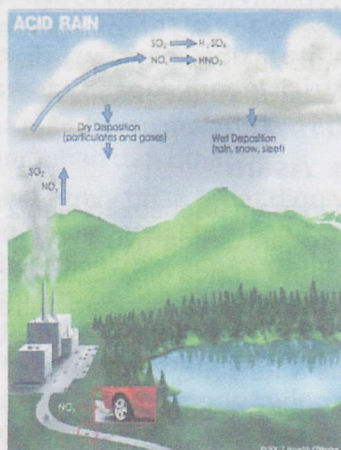
Pada dasarnya hujan asam disebabkan oleh 2 polutan udara, sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_x) yang keduanya dihasilkan melalui pembakaran. Sulfur oksida dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Batu bara merupakan sumber utama sulfur, minyak bumi sebagai sumber kedua, dan gas alami sebagai sumber ketiga (Re Velle & Re Velle, 1992).

Sumber utama emisi nitrogen oksida ke udara berasal dari kendaraan bermotor dan penguraian bahan organik. Oksida N merupakan hasil samping aktivitas jasad renik. Di dalam tanah, pupuk N yang tidak terserap tumbuhan juga mengalami reaksi fisika-kimia

dan biologi sehingga menghasilkan N. Karena itu, semakin banyak menggunakan pupuk N, makin tinggi pula produksi oksida N (Usman, 2001). Oksida N yang terlalu banyak di udara turut menyumbang tingginya hujan asam.

Soemarwoto *dalam* Usman (2001) menyatakan, sekitar 50% SO_2 yang ada di atmosfer seluruh dunia terjadi secara alami, misalnya dari letusan gunung berapi maupun kebakaran hutan secara alami. Sedangkan 50% lainnya berasal dari kegiatan manusia, misalnya akibat pembakaran bahan bakar fosil (BBF), peleburan logam dan pembangkit listrik. Gunung berapi setiap tahun mengeluarkan sekitar 10^{10} kg a^{-1} SO_2 ke atmosfer secara global, dibandingkan dengan sekitar 10^{11} kg a^{-1} dari sumber antropogenik (Colvile *dalam* Bell & Treshow, 2002). Tidak ada bahan bakar yang saat dibakar berupa hidrokarbon murni. Minyak bumi mengandung belerang (sulfur) antara 0,1% sampai 3%, dan batubara 0,4% sampai 5%. Pada saat bahan bakar fosil dibakar, belerang tersebut teroksidasi menjadi sulfur dioksida (SO_2) dan lepas di udara. Oksida belerang itu selanjutnya berubah menjadi asam sulfat.

Meskipun ada sumber-sumber alami sulfur dioksida dan nitrogen oksida, tetapi lebih dari 90% emisi sulfur dan 95% emisi nitrogen terjadi di Amerika Utara bagian Timur berasal dari aktivitas manusia. Polutan-polutan udara primer tersebut berasal dari penggunaan batubara dalam pembuatan energi listrik, dari peleburan bahan metal, dan dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor. Jika dilepaskan ke udara, bahan polutan tersebut dapat berubah susunan kimianya membentuk asam nitrat dan asam sulfat, dimana keduanya mudah larut dalam air. Hasilnya berupa titik-titik air hujan yang dapat terbawa angin sampai jauh, dan akhirnya kembali ke bumi berupa air hujan, salju atau kabut (Gambar 1).



Gambar 1. Proses Pembentukan Hujan Asam
(Sumber: <http://science.howstuffworks.com/acid-rain.htm>)

Tanah sekarang tidak dapat menetralkan keasaman air hujan. Pada beberapa tempat, pengasaman tersebut begitu menyengsarakan, karena turunnya pH sekitar 4. Kasus yang jarang terjadi dicatat bahwa hujan asam ada yang memiliki pH sekitar 2 sampai 2,5.

D. Pengaruh Hujan Asam terhadap Kehidupan Tanaman

1. Pengaruh Langsung Deposisi Asam

- a. *Kerusakan kutikula sebagai pelindung permukaan.* Kerusakan kutikula dapat menyebabkan kerusakan nyata pada daun, buah, atau bunga, kemungkinannya menyebabkan rendahnya produktivitas, menurunnya hasil panen, dan meningkatnya kerentanan terhadap serangan serangga, jamur, dan patogen tanaman yang lain. Kerusakan kutikula juga dapat meningkatkan sensitivitas tanaman terhadap kekeringan.
- b. *Toksisitas H^+ secara langsung pada metabolisme daun setelah penetrasi lewat stomata atau kutikula.* Proses yang dipengaruhi meliputi fungsi stomata, fotosintesis, fungsi membran, dan aksi hormon.
- c. *Alterasi (penggantian) proses eksudasi daun dan akar.* Keasaman dapat memodifikasi pola normal eksudasi dari daun dan akar. Eksudat tersebut mungkin esensial untuk media interaksi tanaman dengan mikroba.
- d. *Mempercepat pencucian nutrisi dari daun.* Asam sulfat dan asam nitrat dapat berperan sebagai sumber nutrisi mineral esensial (N,S) yang barangkali akan meningkatkan pertumbuhan.

Hujan asam dapat berpengaruh pada tanaman dengan berbagai macam cara. Lapisan lilin pada daun rusak sehingga tanaman tidak tahan terhadap keadaan dingin, jamur dan serangga. Pertumbuhan akar menjadi lambat sehingga lebih sedikit nutrisi yang bisa diambil, dan mineral-mineral penting menjadi hilang. Haines & Swank (1988) mengemukakan, jika air tanah diasamkan sampai pH 3,0 maka penyerapan Ca dan elemen-elemen yang lain akan menurun.

Simulasi hujan asam yang dilakukan oleh Neufeld *et al.* (2006) di dalam rumah kaca pada tanaman keras *Liriodendron tulipifera* L., *Platanus occidentalis* L., *Liquidambar styraciflua* L. dan *Robinia pseudo-acacia* L., diketahui bahwa pada pH 5,6; 4,0; 3,0 atau 2,0 selama pemaparan 20 menit per hari setiap tiga hari sekali dengan total 16 kali pemaparan, penurunan fotosintesis bersih hanya terjadi pada pH 2,0. Perlakuan pH sangat rendah hujan asam dapat menyebabkan kerusakan daun serta penurunan pertumbuhan, terutama terjadinya penurunan

aktivitas fotosintesis. Diduga penurunan pertumbuhan ini diawali dengan perubahan klorofil menjadi *pheophytin*. *Pheophytin* adalah molekul klorofil yang tidak memiliki ion Mg sentral yang berperan sebagai pembawa elektron pertama yang menjembatani jalur transfer elektron fotosistem II.

Shan (1998) juga telah melakukan kajian dengan menggunakan simulasi hujan asam buatan. Hasil penelitian menunjukkan kandungan klorofil a dan b meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi NO_3 . Peningkatan klorofil a dan b karena kandungan nitrogen pada air hujan mencukupi untuk merangsang produksi klorofil dan dapat mengatasi efek degradasi karena adanya H^+ dari hujan asam. Hal ini ditunjang dengan pemeriksaan nilai absorbansi dari spektrum klorofil menunjukkan puncak pada 665, 606 dan 535 nm. Penurunan spektrum klorofil menunjukkan perubahan karakteristik dari klorofil menjadi *pheophytin*. Kondisi penurunan efisiensi fotosintesis membuktikan bahwa meskipun seakan terjadi peningkatan kandungan klorofil tetapi tetap terjadi penurunan laju fotosintesis. Pengurangan laju fotosintesis akibat paparan SO_2 kronik juga dilaporkan oleh Legge & Krupa (2002). Selanjutnya dikemukakan bahwa akumulasi total S pada tanaman kedelai yang difumigasi dengan SO_2 terjadi pengurangan kandungan klorofil total pada daun. Demikian juga dinyatakan bahwa paparan SO_2 kronik menyebabkan pengurangan pada kandungan ATP total pada tanaman pinus. Hal tersebut mengindikasikan adanya reduksi pada laju fosforilasi oksidatif dan/atau meningkatnya konsumsi energi pada pemulihan tanaman akibat cekaman.

Cekaman yang diakibatkan adanya infeksi patogen daun dapat meningkatkan laju respirasi pada jaringan yang terinfeksi. Kebalikannya dengan jalur metabolik primer (metabolisme energi), paparan terhadap SO_2 juga dapat mengubah metabolisme sekunder. Sebagai contoh, rigiditas dinding sel dapat diinduksi oleh paparan langsung SO_2 lewat peningkatan produksi fenol dan peroksidase, dan konsekuensinya meningkatkan oksidasi fenol. Sesuai dengan penelitian Mayo *et al.* dalam Legge & Krupa (2002), fumigasi gas S dan deposisi debu S yang dikombinasikan dengan senyawa fenolik dapat meningkatkan konsentrasi aluminium dan besi terlarut dan mengubah properti elastik dinding sel dan hubungannya dengan air. Berdasarkan pada kajian sebelumnya, disimpulkan bahwa resistansi difusi daun dan fotosintesis berubah dengan adanya perubahan pada fisiologi stomata dan pengurangan pada asimilasi karbon.

Kerusakan tanaman akibat sulfur dioksida pertama kali tampak pada daun, yang lebih sensitif terhadap paparan SO_2 , daripada batang, kuncup dan organ reproduksi tanaman. Respon terhadap SO_2 ditentukan oleh faktor biotik dan abiotik, seperti misalnya konsentrasi, durasi dan

frekuensi paparan SO_2 . Faktor biotik meliputi perubahan genetik, perkembangan tahap pertumbuhan dan status nutrisi tanaman. Faktor abiotik meliputi temperatur udara dan tanah, kelembaban relatif, radiasi, presipitasi dan kondisi meteorologi, seperti adanya polutan udara yang lain (Legge & Krupa, 2002).

Di samping itu, pengaruh hujan asam juga dapat menurunkan kandungan vitamin. Penelitian pada tanaman stroberi yang diberi perlakuan hujan asam menurunkan kandungan vitamin A, E dan C. Vitamin tersebut merupakan antioksidan yang melawan kerusakan oksidatif. Kandungan vitamin A, E dan C masing-masing sebesar 20,71%; 37,86%; 60,62% setelah 24 jam perlakuan dan menjadi 14,28%, 30,30%, 57,44% setelah 48 jam perlakuan hujan asam. Penurunan vitamin-vitamin tersebut menunjukkan reaksi terhadap radikal-radikal bebas organik $\text{OH}\cdot$ (radikal hidroksil) dan O_2^- (radikal superoksida), serta melindungi biomembran dari kerusakan yang diinduksi oleh radikal-radikal bebas tersebut (Munzuruglu *et al.*, 2005).

2. Pengaruh Tidak Langsung Deposisi Asam

Pengaruh tidak langsung deposisi asam terhadap tanaman dapat dijelaskan sebagai berikut.

- a. *Meningkatnya kerentanan terhadap kekeringan.* Kehilangan air dipercepat oleh rusaknya kutikula daun. Pengambilan air oleh akar-akar tanaman (*water uptake*) berkurang karena rusaknya bulu-bulu akar yang disebabkan oleh mobilisasi logam-logam fitotoksik akibat pengasaman tanah.
- b. *Berubahnya interaksi hospes – parasit.* Kerusakan kutikula tanaman dan bulu-bulu akar dapat menyebabkan penetrasi patogen yang cepat ke dalam jaringan daun.
- c. *Berubahnya interaksi simbiotik.* Fiksasi nitrogen dapat menyebabkan berubahnya proses eksudasi pada akar, dan secara nyata dihambat oleh pengasaman tanah.
- d. *Kekurangan mineral disebabkan rusaknya bulu-bulu akar dan meningkatnya pencucian nutrien dari tanah dan daun.* Presipitasi asam sangat meningkatkan laju pencucian nutrien dari tanah. Menurunnya status nutrien tanah disebabkan rusaknya bulu-bulu akar yang mempengaruhi meningkatnya keasaman tanah dan toksisitas aluminium.
- e. *Toksistas aluminium.* Aluminium merupakan logam yang sangat toksik yang sangat melimpah di banyak jenis tanah. Pada saat pH di atas 5,0; aluminium tidak dapat larut. Akan tetapi, jika presipitasi asam di bawah 4,8, mobilisasi aluminium tanah dapat terjadi, yang dapat menyebabkan toksistas aluminium (Taylor, tanpa tahun).

Pembahasan masalah pengaruh deposisi asam tidak dapat dilepaskan dengan sejarah mulai diperhatikannya masalah munculnya fenomena penurunan fungsi hutan (*forest decline*). Penurunan fungsi hutan, yaitu kematian pepohonan secara perlahan-lahan, bukanlah sesuatu yang baru, tetapi detail dari apa yang terjadi merupakan suatu fenomena yang unik. Penurunan fungsi hutan dimulai dari menguningnya daun tua kornifera yang kemudian diikuti oleh menguning dan luruhnya daun-daun muda. Akhirnya diikuti kematian akar tanaman. Akibatnya, kanopi tanaman dan pertumbuhan lingkaran batang menurun. Laju pertumbuhan pohon *spruce* (sejenis pohon cemara) di *Green Mountain Vermont* menurun sampai 50% antara tahun 1963 sampai 1973. Analisis lingkaran tahun pohon menunjukkan hasil yang sama pada pertumbuhan hutan di Eropa.

Hubungan antara deposisi asam dan pengaruh fitotoksik adalah kompleks. Respon tanaman terhadap deposisi asam akan tergantung pada sejumlah faktor meliputi:

- a. Spesies tanaman, ekotipe atau kultivar.
- b. Umur tanaman atau tahap perkembangan.
- c. Karakteristik pemaparan (frekuensi, durasi, periode, bentuk keasaman, waktu antara pemaparan, dan lain-lain).
- d. Faktor lingkungan yang lain yang berpengaruh terhadap kekuatan fisik tanaman.
- e. Kapasitas penyangga (*buffering*).

Terhadap kemungkinan-kemungkinan di atas, banyak ilmuwan yang sudah meneliti tentang pengendalian lingkungan seperti menggunakan simulasi hujan asam di dalam *greenhouse*. Menariknya, tanaman yang ditumbuhkan dalam lingkungan yang terkontrol menunjukkan kerentanan yang lebih besar terhadap kerusakan daun, dan ambang batas yang lebih rendah untuk pengurangan hasil panen daripada tanaman yang ditumbuhkan di lapang. Suatu observasi umum bahwa kebanyakan tanaman menunjukkan hanya sedikit pengaruh terhadap pertumbuhan dikarenakan simulasi hujan asam pada keasaman yang sama dengan hujan alami. Dimana pengaruh pertumbuhan sudah ditentukan, yaitu pada kisaran 5-10%. Deposisi asam dapat berpengaruh terhadap tanaman lewat pengaruh langsung dan tidak langsung lewat cekaman sekunder. Tidak semua pengaruh terbukti dalam studi laboratorium atau dalam studi lapang jangka pendek.

Berbagai hipotesis muncul tentang penyebab penurunan fungsi hutan. Cekaman iklim, kekeringan dan faktor tanah telah dipelajari secara intensif. Penurunan fungsi hutan merupakan hal serius. Akan tetapi, kajian yang mendalam tentang hal tersebut di Eropa dan Amerika

Utara gagal menyingkap hubungan yang nyata antara deposisi asam dan pertumbuhan tanaman.

Godbold & Huttermann (1994) dalam Treshow & Bell (2002) menyatakan bahwa pengaruh deposisi asam tidak langsung, tetapi diperantarai oleh adanya perubahan pada kimia tanah yang mempengaruhi proses-proses lain. Tampaknya, penurunan fungsi hutan berhubungan dengan berbagai cekaman, baik secara sendiri-sendiri maupun secara kombinasi. Hal ini konsisten dengan kenyataan bahwa gejala-gejala penurunan tidak sama pada semua daerah. Sebagai contoh, sulfur dioksida barangkali merupakan polutan yang paling penting pada suatu daerah, akan tetapi gangguan tanah seperti akumulasi logam berat, ketidakseimbangan nitrogen dan faktor iklim seperti kekeringan merupakan faktor terpenting pada daerah yang lain.

E. Pengaruh Hujan Asam pada Kehidupan Hewan-hewan Akuatik

Hujan asam menyebabkan elemen-elemen berbahaya seperti merkuri dan aluminium tercuci dari tanah dan batuan, kemudian terbawa ke danau yang akan mempengaruhi kehidupan akuatik di dalamnya. Pada beberapa danau sudah ada tanda-tanda peringatan. Diceritakan tentang bahayanya memakan ikan yang beracun karena merkuri. Pada tanah tertentu memiliki kemampuan alami menetralsir keasaman air hujan, dalam batasan tertentu. Demikian pula danau dan badan air yang lain juga dapat mengurangi pengaruh hujan asam. Jika keasaman meningkat, mekanisme alami tidak lagi dapat mengatasinya. Pada saat pH mencapai 5,5, plankton, serangga dan krustasea tertentu mulai mati. Pada pH sekitar 5,0, populasi ikan mulai mati. Pada saat pH turun di bawah 5,0 semua ikan mati, dan dasar danau dipenuhi materi yang belum terurai. Setiap tahun selama musim dingin, terjadi peningkatan keasaman danau secara tiba-tiba karena asam beku yang tiba-tiba mengumpul di tempat itu. "Kejutan Asam" ini mencegah reproduksi spesies akuatik, atau menimbulkan kematian bayi-bayi hewan akuatik.

F. Pengaruh Hujan Asam terhadap Hewan Terrestrial dan Burung

Semua makhluk hidup saling bergantung satu dengan yang lainnya. Jika bentuk kehidupan tingkat rendah terbunuh, maka spesies lain yang tergantung padanya juga akan ikut dipengaruhi. Setiap hewan yang terlibat dalam rantai makanan itu akan dipengaruhi. Hewan dan burung, seperti burung-burung air atau berang-berang, yang tergantung pada air sebagai sumber makanan atau sebagai habitat, juga mulai mati.

Adanya pengaruh hujan asam, hewan-hewan yang tergantung pada tanaman sebagai pakannya juga mulai menderita. Burung-burung yang tinggal di pepohonan juga mulai menderita karena kehilangan habitat. Pengaruh hujan asam terhadap kehidupan liar terestrial sulit untuk dievaluasi. Deposisi asam menyebabkan populasinya menurun. Hal ini karena menurunnya sumber-sumber makanan yang diperoleh dan menurunnya keberhasilan reproduksi.

Penelitian pengaruh hujan asam pada serangga dan acarina tidak sebanyak penelitian pada tanaman. Pengaruh hujan asam umumnya berkenaan dengan tanaman yang terpapar langsung dan serangga yang memakan tanaman tersebut. Penelitian banyak diarahkan pada tanaman hutan. Proses pengendapan kation H^+ , sulfur, nitrogen dan senyawa lain dapat mempengaruhi ekosistem hutan. Salah satu penelitian yang dilakukan Kanova & Kula (tanpa tahun) adalah eksperimen untuk menilai pengaruh senyawa yang diasamkan pada tanaman dan serangga fitofagus yang berhubungan dengan tanaman tersebut. Sebanyak 160 pot yang ditanami tanaman keras *Betula pendula* Roth umur 2 tahun digunakan dalam penelitian ini, yang terbagi atas 4 kelompok perlakuan, yaitu C-kontrol, A1-penyiraman dengan senyawa asam, A2-penyiraman dan penyemprotan senyawa asam pada daun, A3-penambahan amonium sulfat. Tanaman kemudian ditempatkan pada *greenhouse* plastik terbuka, sehingga tidak terkena air hujan. Setelah dua tahun perlakuan, pH substrat asli berkurang menjadi 3,69-3,96 pada A1, A2 and A3; sedangkan nilai pH kontrol substrat sebesar 4,99. Pada perlakuan yang diasamkan, kandungan kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan kalium (K) yang mengubah kation (Mechlich II) menurun. Kandungan aluminium aktif pada perlakuan yang diasamkan meningkat. Kandungan mineral nitrogen (NH_4^+ , NO_3^-) secara signifikan meningkat pada perlakuan A3 (dengan aplikasi amonium sulfat). Perbedaan pada pengambilan zat hara berpengaruh pada kandungan total elemen pada berat kering daun. Pada perlakuan A3, kandungan nitrogen meningkat secara dramatis pada 10-15 $g \cdot kg^{-1}$. Perlakuan pengasaman menunjukkan kandungan sulfur yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol, dimana rata-rata kandungan S sebesar 1,5 $g \cdot kg^{-1}$ S dalam berat kering. Pada A1 and A2, kandungan sulfur lebih dari 4 $g \cdot kg^{-1}$. Pada perlakuan A3, kandungan sulfur mendekati kontrol (1,99 $g \cdot kg^{-1}$). Selain itu, perlakuan juga mempengaruhi kandungan fosfor, kalsium, kalium, magnesium, aluminium dan tembaga.

Beberapa bibit tanaman ditemukan kurang menarik bagi serangga fitofagus sesuai dengan perubahan yang terjadi pada nilai nutrisi mereka. Imago *Phyllobius* sp. (Curculionidae) memakan hampir semua tanaman pada perlakuan A₁ and C, paling tidak pada A₁ dan A₃. Pilihan pakan mungkin dipengaruhi oleh kandungan elemen pada daun (terutama

nitrogen), tunas daun-daun alami yang berbeda dengan tunas yang baru tumbuh, dan barangkali oleh faktor-faktor yang lain. Kutu daun *thrip* (*Terebrantia*) lebih menyukai pohon yang memiliki kandungan nitrogen dan sulfur lebih banyak (perlakuan A_2 , A_3). Ulat yang hidup bebas yang tidak spesifik memakan tanaman tertentu dan larva Hymenoptera dicatat paling sedikit pada kontrol. Serangga-serangga tersebut memakan lebih banyak pada perlakuan dengan *input* sulfur atau kandungan nitrogen yang meningkat (A_2 , dan sedikit pada A_1 dan A_3) (Kanova & Kula, tanpa tahun).

Penelitian yang dilakukan Wang *et al.* (2006) pada Acarina tungau laba-laba merah *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval yang diberi paparan simulasi hujan asam menunjukkan bahwa lama stadium *immature* (belum dewasa) secara signifikan dipengaruhi oleh paparan hujan asam. Durasi terpendek dicapai oleh tungau yang dipapar hujan asam pH 5,6 (8,9 hari), sedangkan durasi terpanjang dicapai oleh tungau yang dipapar pH 2,5. Dibandingkan dengan kontrol, lama hidup imago (*longevity*) tungau makin pendek sejalan dengan meningkatnya kadar keasaman air hujan. Durasi oviposisi juga makin pendek pada hujan yang semakin asam. Fekunditas tungau pada kadar asam yang tinggi (pH 2,5 sampai 3,0) makin sedikit, tetapi tidak berbeda nyata pada pH 5,6 sampai 4,0.

Penelitian yang dilakukan Ruuhola *et al.* (2009) mencobakan pemaparan hujan asam jangka panjang (19 tahun) terhadap daun tanaman birch gunung dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan respon imun larva ngengat musim gugur. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa polusi menyebabkan peningkatan 50% aktivitas peroksidase (POD) pada daun birch, sedangkan aktivitas polifenoloksidase (PPO) atau katalase (CAT) tidak dipengaruhi. Hal tersebut diduga karena POD berperan penting dalam meredam cekaman oksidatif pada tanaman birch. Pada tanaman yang terpolusi, fenoloksidase barangkali berperan sebagai antioksidatif, bukan enzim prooksidatif, yang ditunjukkan sebagai hubungan yang positif antara aktivitas enzim (PPO, CAT) dan performansi larva (berat pupa). Meskipun polusi hujan asam tidak memiliki pengaruh langsung terhadap berat pupa dan lama periode larva, perlakuan hujan asam tinggi terbukti mengurangi sedikit (6% pada betina) respon enkapsulasi pupa.

G. Pengaruh Hujan Asam terhadap Manusia

Manusia tergantung pada makanan yang terdiri atas tanaman dan hewan. Jika hujan asam menyebabkan berkurangnya populasi ikan di danau, maka kehidupan manusia yang tergantung pada ketersediaan ikan dan hewan-hewan air tawar lainnya akan terganggu. Memakan ikan yang sudah terkontaminasi Hg (merkuri) dapat menyebabkan

masalah kesehatan yang serius. Selain dapat mengurangi populasi hewan dan tanaman sebagai sumber makanan manusia, hujan asam juga mempengaruhi makanan yang kita makan dan air yang kita minum. Hal tersebut sama pentingnya dengan udara yang kita hirup. Hujan asam menyebabkan banyak anak-anak dan orang dewasa menderita asma sebagai akibat pengaruh langsung. Perusahaan air minum umumnya sudah melakukan perlakuan untuk menetralsisir beberapa pengaruh hujan asam. Dengan demikian penduduk kota mungkin tidak dipengaruhi secara langsung. Akan tetapi, pada daerah-daerah pedesaan, yang tergantung pada danau, sungai, dan sumur akan merasakan dampak hujan asam bagi kesehatan mereka. Gigi mudah keropos, karena kalsium gigi tergerus oleh air yang asam. Air yang asam bergerak lewat pipa-pipa air menyebabkan elemen berbahaya seperti timah dan tembaga tercuci ke dalam air. Aluminium yang lebih mudah larut dalam air hujan yang asam daripada air hujan biasa tampaknya sudah dikaitkan dengan penyakit Alzheimer. Perlakuan suplai air (PDAM) tidak termasuk pengeliminasian elemen Aluminium, oleh karena itu hal ini juga merupakan hal yang serius bagi warga kota.

Sementara bagi manusia, sedikit logam (timah atau tembaga) pada air minum dapat menyebabkan diare. Hujan asam juga dapat menimbulkan penyakit gatal-gatal serta menyebabkan atau memperburuk penyakit pernafasan (seperti kanker paru-paru, bronkhitis, dan emphisema) dan berperan dalam kematian dini. Hujan asam memang dapat menyuburkan lahan yang kekurangan belerang dan nitrogen, namun dampak buruknya tetap saja lebih dominan (Angkasa-online, 2002).

H. Pengaruh yang Lain

Semua makhluk hidup, apakah itu tanaman atau hewan, apakah yang tinggal di darat atau di air atau di pohon, dipengaruhi oleh hujan asam baik secara langsung maupun tidak langsung. Bahkan bangunan-bangunan, jembatan dan bangunan yang lain juga dipengaruhi olehnya. Di kota, cat-cat bangunan terkelupas dan warna cat-cat mobil memudar dikarenakan pengaruh hujan asam. Dari Taj Mahal di India sampai dengan Monumen Washington yang terkenal sebagai bangunan megah di dunia pun dipengaruhi oleh hujan asam yang menyebabkan korosi, retak-retak, dan memudarnya warna cat bangunan. Di Eropa, bangunan seperti Acropolis di Greece dan bangunan Renaissance di Italia, juga beberapa gereja dan katedral mengalami kerusakan yang nyata. Yucata Peninsula di Mexico, tempat-tempat di Amerika Selatan, dan Piramida Maya yang kuno rusak karena hujan asam. Candi, mural, dan inskripsi kuno yang sebelumnya bertahan berabad-abad lamanya sekarang menunjukkan tanda-tanda korosi. Bahkan buku-buku, manuskrip-

manuskrip, lukisan-lukisan, dan patung-patung di museum dan perpustakaan dipengaruhi pula oleh deposit asam, dimana sistem ventilasi tidak dapat mengurangi partikel asam dari udara yang beredar di dalam bangunan. Pada beberapa bagian Polandia, kereta api harus berjalan dengan pelan, karena lintasan rusak berat akibat korosi hujan asam.

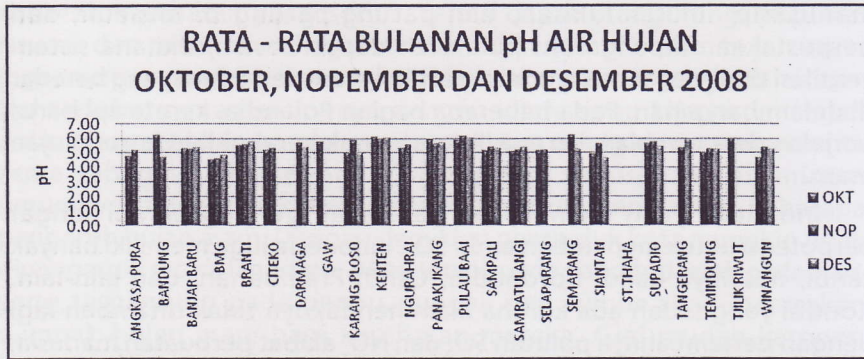
Indonesia yang memiliki banyak sekali gunung berapi sangat berpotensi untuk menambah emisi SO_2 . Indonesia juga memiliki banyak candi, misalnya Candi Borobudur, Candi Prambanan, dan lain-lain. Kondisi yang sudah ada karena alam hendaknya tidak ditambah lagi dengan bertambahnya polutan SO_2 dan NO_x akibat perbuatan manusia.

I. Hujan Asam di Indonesia

Makin tahun, laju pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat. Di Jakarta mencapai 15% per tahun. Pada tahun 2004 jumlah kendaraan bermotor di Indonesia tercatat 4,5 juta kendaraan. Seiring dengan laju pertumbuhan kendaraan bermotor, maka konsumsi bahan bakar minyak (BBM) juga akan meningkat dan berujung bertambahnya jumlah pencemar dilepaskan yang ke udara (Usman, 2001).

Variasi rata-rata bulanan pH hujan (rata-rata tertimbang) di Pulau Jawa memperlihatkan kecenderungan terbanyak pada nilai 5,0-5,5 untuk Jakarta dan Cisarua dengan frekuensi penyebaran sebanyak 35% dan 28%, sedangkan Bandung dan Surabaya pada kisaran 4,5-5,0 dengan persentase frekuensi sebanyak 24% dan 27%. Kejadian hujan asam dengan $\text{pH} < 5,6$ di Jakarta sebanyak 60% selama 1983-1999 dan sebanyak 65% selama 2001-2004. Daerah Cisarua sebagai daerah pedesaan ternyata persentase kejadian hujan asam cukup tinggi, yaitu 72% dari total kejadian hujan sejak tahun 1989 sampai 2004. Bandung mempunyai persentase frekuensi terbanyak di daerah $\text{pH} 4,5-5,0$ dengan kejadian hujan asam dengan $\text{pH} < 5,6$ cukup tinggi yaitu 74% dari total kejadian hujan sejak tahun 1989-2004. Di Surabaya, hujan asam yang terjadi sebesar 78% selama 1993-2003. Hujan asam telah terjadi di Jakarta sejak tahun 1984, di Cisarua sejak 1989, di Bandung sejak 1994, dan di Surabaya sejak 1993 (Budiwati, dkk., 2007).

Hasil analisis air hujan untuk bulan Oktober sampai Desember 2008 menunjukkan bahwa pH rata-rata air hujan di Indonesia berkisar antara 4,49 - 6,21 (Gambar 2). Besarnya pH rata-rata tertinggi terjadi pada bulan Oktober di stasiun BMG Pusat. Besarnya pH rata-rata terendah terjadi bulan Nopember di Semarang. Analisis pH air hujan menunjukkan telah terjadi hujan asam di sebagian tempat di Indonesia (BMG, 2009).



Gambar 2. Rata-rata pH Air Hujan Bulan Oktober, Nopember dan Desember 2008 di Indonesia (BMG, 2009)

J. Laju Peningkatan Hujan Asam

Pengaruh ekologi presipitasi asam dapat ditentukan dari waktu terjadinya perubahan pada fosil-fosil mikro yang sensitif terhadap asam dan polutan logam pada sedimen. Kerusakan yang luas pada ekosistem Scandinavia dan Amerika Utara tidak diketahui sampai tahun 1930 – 1950 an. Kerusakan ekosistem ini diduga karena beberapa faktor: 1) meningkatnya pabrik-pabrik besar dan konstruksi cerobong-cerobong asap pabrik yang menjulang tinggi, dan adanya penggunaan batubara sebagai pemanas ruangan, mengubah masalah polusi lokal menjadi masalah polusi yang melibatkan wilayah yang luas dan melintas batas daerah/negara; 2) Emisi NO_x dan polutan lain yang membantu dalam oksidasi sulfur dan nitrogen oksida meningkat; 3) Hal itu semua membuat banyak danau, sungai, dan situ kehilangan kemampuan dalam menyangganya.

1. Perluasan dan Laju Pengasaman Air Permukaan

Ada 4 bukti yang mengindikasikan pengasaman yang meluas pada ekosistem akuatik dari banyak negara akibat hujan asam. *Pertama*, bukti dari analisis geokimia yang menunjukkan bahwa pada perairan yang paling sensitif hampir semuanya tidak ada yang alkali. Masuknya asam kuat dalam jumlah besar menyebabkan penurunan pH perairan. Bukti *kedua*, adanya bukti paleoekologi rekonstruksi pH dari sisa-sisa diatom pada sedimen danau. Hasilnya memperlihatkan bahwa pada umumnya lebih banyak danau-danau yang mengalami pengasaman dan laju pengasaman yang lebih tinggi ditemukan pada daerah yang terkena deposisi asam yang tinggi. Perbandingan kimia dari danau-danau memperlihatkan bukti *ketiga*, yaitu adanya indikasi bahwa ada korelasi

antara menurunnya alkalinitas danau dengan meningkatnya sulfat, dan sebaliknya. Bukti *keempat* adalah dari hasil analisis tren jangka panjang dimana kehilangan alkalinitas lebih besar dari 100 meq/L dipercaya disebabkan sepenuhnya karena hujan asam (Schindler, 1988).

2. Bukti Perubahan Biologi

Ikan yang toleran pada pH kurang dari 5,5 merupakan organisme pertama yang dicatat dipengaruhi oleh rendahnya tingkat pH karena hujan asam. Ikan-ikan kecil dan banyak organisme tingkat rendah dalam rantai makanan akuatik adalah organisme yang tidak tahan terhadap pH air yang asam. Oligotrofikasi pengasaman danau tidak terjadi pada seluruh kasus, tetapi ada perubahan yang signifikan pada fitoplankton pada danau-danau yang diteliti.

3. Peran Aluminium pada Kerusakan Biologi

Aluminium memasuki danau dan sungai disebabkan adanya pelepasan dari tanah terestrial dan sedimen danau yang asam. Ada dua bentuk aluminium, yaitu aluminium ionik dan aluminium hidroksida yang toksik terhadap spesies ikan, sedangkan organisme akuatik lainnya tampaknya juga kurang tahan terhadap toksisitas aluminium. Toksisitas aluminium hanya terjadi pada nilai pH kurang dari 6,0 (Schindler, 1988).

K. Amandemen Akta Udara Bersih

Dewasa ini, standar kualitas udara ditaur oleh undang-undang. Konsentrasi polutan harus selalu dipantau dan dikendalikan. Pengaturan kriteria kualitas udara pertama kali diusulkan dan didiskusikan pada tahun 1960 an. Pengaturan mula-mula dikembangkan di California dalam hubungannya dengan kesehatan manusia. Melalui debat yang panjang, Kongres Amerika Serikat mencanangkan *Air Quality Act* (Akta Kualitas Udara) tahun 1967. Pada tahun 1976, dokumen kriteria yang dirancang pada *Clean Air Act* (Akta Udara Bersih) tahun 1970 mengembangkan enam kriteria polutan, yaitu oksidan fotokemikalia, karbon monoksida, artikel halus, sulfur oksida, nitrogen oksida, dan hidrokarbon non-methana. Kriteria ke-7 adalah timah, ditambahkan pada tahun 1977. Dengan berkembangnya kepedulian terhadap polusi udara antar negara di Eropa, *United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)* mengembangkan 'Batas Kritis' untuk perlindungan terhadap vegetasi. Polutan yang dibahas adalah SO_2 , NO_x , NH_3 , dan O_3 (Bell & Treshow, 2002).

Amandemen Akta Udara Bersih (*Clean Air Act Amendments*) tahun 1990 merupakan langkah pertama yang sangat penting dalam mengendalikan masalah hujan asam (PennState, tanpa tahun). Program

Pengendalian Deposisi Asam termaktub dalam bab IV amandemen 1990 tersebut, mengharapkan pengurangan sulfur dioksida tahun 1980 40% lebih rendah pada tahun 2010 (Lawler, 2005). Untuk masalah tersebut, amandemen Akta Udara Bersih memerlukan usaha yang dapat mengurangi emisi sulfur dioksida dan nitrogen oksida, antara lain dengan cara memasang *scrubbers* pada cerobong asap pabrik, dan menggunakan batu bara yang memiliki rendah sulfur.

Hasil usaha-usaha tersebut cukup dramatis. Sesuai dengan kesepakatan nasional Amerika tentang emisi (*National Emission Inventory*), emisi sulfur dioksida dari semua sumber turun dari hampir 26 juta ton pada 1980 menjadi 11,4 juta ton pada tahun 2008. Nitrogen oksida menurun dari 27 juta ton menjadi 16,3 juta ton pada rentang tahun yang sama. Apakah hal itu berarti masalah sudah dipecahkan? Belum. Hujan pada Amerika Serikat bagian Timur masih relatif asam. Pada tahun 2007, hampir seluruh hujan pada daerah itu memiliki pH antara 4,3 dan 4,8. (Pada akhir tahun 1970 dan awal 1980-an rata-rata pH hujan tahunan mendekati 4,0). Menurut Gary Lovvet dari Pusat Studi Ekosistem Institut Cary, pH hujan alami pada daerah itu sekitar 5,2. Mungkin hal tersebut tidak banyak berbeda, tetapi perlu diingat bahwa besarnya pH menggunakan skala logaritmik, bukan linier, dengan demikian bahwa pH 4 adalah 10 kali lebih asam daripada pH 5. Kesimpulannya, banyak hujan yang terjadi di Amerika Serikat bagian Timur yang 2,5 dan 8 kali lebih asam daripada yang seharusnya. Dengan demikian, usaha untuk mengurangi emisi prekursor hujan asam di Amerika belum terlalu memecahkan masalah negara-negara di dunia. Pada tahun 2005, Cina merupakan penghasil emisi sulfur dioksida terbesar di dunia, yaitu mengirim sekitar 25,5 juta ton. Beijing pada tahun berikutnya mengumumkan bahwa negaranya hendak mengurangi emisi SO_2 sebesar 10% dari level pada tahun 2005 (Rastogi, 2009).

L. Pemecahan Masalah

Tekanan dari kelompok-kelompok pecinta lingkungan, dan peran serta masyarakat semakin meningkat karena menyaksikan bahwa pengaruh hujan asam menjadi lebih nyata. Pemerintah di seluruh dunia umumnya melakukan rencana untuk menanggulangi masalah ini.

Danau-danau yang menjadi sangat asam, dapat diatasi dengan menambahkan sejumlah besar substansi alkali seperti kapur, dalam proses yang disebut pengapuran. Meskipun usaha ini dilakukan pada beberapa tempat, akan tetapi usaha ini tidak akan berhasil jika danau yang diperlakukan terlalu besar, sehingga jika dilihat dari kaca mata ekonomi menjadi tidak memungkinkan untuk dilakukan.

Pendekatan terbaik tampaknya adalah tindakan pencegahan. Pengaturan lingkungan harus ditingkatkan untuk mengurangi jumlah emisi yang dilepaskan ke atmosfer. Beberapa industri sudah menambahkan *scrubber* ke cerobong asap mereka untuk mengurangi jumlah sulfur dioksida yang menumpuk di udara. Cerobong asap tinggi tersebut didisain agar gas-gas yang keluar dari *exhaust* pipa automobil dianggap tidak berbahaya. Beberapa industri yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar mulai mencuci batu bara yang akan digunakan, dengan demikian mengurangi jumlah sulfur di dalamnya. Penggunaan batu bara dengan kandungan sulfur rendah juga mengurangi masalah hujan asam. Untuk mengurangi kerusakan cat otomotif karena hujan asam dan deposisi kering asam, beberapa pabrik menggunakan cat yang tahan terhadap zat asam dengan biaya yang lebih mahal (US EPA, 2008).

Kita sebagai individu dapat melakukan beberapa tahap untuk mengurangi pengaruh hujan asam. Pengurangan penggunaan kendaraan bermotor akan mengurangi jumlah emisi yang dikeluarkan kendaraan-kendaraan. Jadi lebih baik tidak menggunakan mobil untuk jarak dekat, kecuali jika sangat terpaksa. Untuk pergi ke tempat yang dekat sebaiknya berjalan kaki saja atau menggunakan *sepeda on the*. Hal ini tidak hanya untuk melindungi lingkungan, tetapi juga untuk meningkatkan kesehatan kita. Jika memang harus menggunakan mobil, lebih baik memilih transportasi umum atau menggunakan mobil dengan banyak penumpang. Penggunaan energi listrik seyogyanya dikurangi, dengan cara mematikan lampu dan alat listrik lainnya jika tidak digunakan, tidak meninggalkan TV, VCR, *oven microwave* atau alat-alat musik dalam kondisi menyala (*on*) jika tidak digunakan.

Mengurangi konsumsi energi akan mengurangi jumlah batu bara yang dibakar untuk menghasilkan listrik, dan dengan demikian akan mengurangi polusi. Batubara umumnya mengandung 2 – 3% sulfur, dan jika batu bara tersebut dibakar, maka sulfur akan dilepaskan ke udara. Perusahaan-perusahaan listrik dan industri lain yang membakar batu bara menyebabkan banyak emisi sulfur dioksida. Industri-industri lain yang memproses bahan mentah dari bahan-bahan yang mengandung sulfida karena ingin memperoleh tembaga, seng, atau nikel juga menyebabkan meningkatnya tingkat sulfur dioksida di atmosfer.

Peningkatan kesadaran merupakan salah satu cara meyakinkan bahwa segala sesuatu sudah dilakukan untuk memecahkan masalah global ini. Perlu disadari bahwa bahan bakar batu bara itu digunakan oleh PLN dalam proses produksi listrik. Jika mereka menggunakan batu bara, maka kita perlu menanyakan metode apa yang mereka pakai. Jika tidak dieliminasi, maka emisi sulfur tetap akan menjadi masalah.

Mencuci batu bara yang digunakan, atau menggunakan batu bara yang mengandung sulfur rendah adalah mahal dan dengan demikian beberapa perusahaan mencoba menghindarinya. Jika kita memiliki pilihan, seyogyanya kita memilih segala sesuatu yang lebih ramah terhadap lingkungan.

Pendapat kita tentang dampak polusi di media massa mungkin akan didengar oleh pemerintah. Tekanan masyarakat akan membuat pemerintah menetapkan undang-undang yang sesuai, untuk menjamin bahwa industri tetap menjaga emisi mereka dalam batas-batas limit yang ditetapkan. Jika masyarakat bersatu dalam menyuarakan satu hal, maka pemerintah akan lebih mendengarkan aspirasi kita.

2

Persuteraan Alam

Persuteraan Alam adalah kegiatan agro-industri yang meliputi pembibitan ulat sutera, budidaya tanaman murbei, pemeliharaan ulat sutera, pemintalan, pertenunan, pematikan /pencelupan/pencapan/ penyempurnaan, garmen dan pembuatan barang jadi lainnya termasuk pemasarannya (Peraturan Bersama Menhut, Menperin, dan Menneq KUKM, 2006).

A. Sejarah Perkembangan Budidaya Sutera

Sudah sejak lama sutera dikenal sebagai kain mewah. Asal-usul ditemukannya sutera biasanya dikaitkan dengan cerita jaman Cina Kuno. Legenda Cina menceritakan bahwa dahulu kala ada seorang putri Cina yang sedang minum teh di kebun. Saat itu ada kepompong ulat sutera yang jatuh ke dalam cangkirnya. Air teh yang panas melepaskan untai serat sutera yang panjang. Menurut literatur kuno Cina, sutera populer pada sekitar 2600 SM, dimana ada Ratu Cina Si-Ling yang mempopulerkannya. Dia dikenal sebagai Dewi Ulat Sutera, karena mengangkat persuteraan dan merancang alat tenun untuk membuat kain sutera. Ulat sutera pertama kali didomestikasi 5000 tahun yang lalu pada dinasti Han di China.

Pada mulanya, Cina sangat melindungi rahasia mereka dalam pembuatan kain sutera. Pemerintah yang saat itu berkuasa menetapkan aturan hukum mati bagi siapa saja yang membocorkan rahasia pembuatan benang sutera. Tapi akhirnya, misteri proses pembuatan



JEKTI PRIHATIN. Penulis kelahiran Banyuwangi, 9 Oktober 1965. Pendidikan SD SMA di Kebumen. Menyelesaikan pendidikan S1 di Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Yogyakarta, S2 pada bidang Entomologi Fakultas Biologi UGM, dan sedang menyelesaikan pendidikan S3 di Pendidikan Biologi Pascasarjana Universitas Negeri

Malang. Bekerja di Prodi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Jember sejak 1991. Penulis telah banyak melakukan kegiatan penelitian di bidang Entomologi, khususnya tentang persuteraan, baik sutera alam maupun sutera liar. Hasil penelitian telah banyak dipublikasikan di jurnal terakreditasi dan tidak terakreditasi nasional. Selain itu, hasil penelitian diseminarkan pula pada seminar nasional dan internasional.



ISBN 978-979-796-192-3



Kritik dan saran mengenai buku ini via *E-mail*: ummpress@yahoo.com