



Mekanisme Hujan Asam Dan Dampak Pada Kehidupan

Mah Citra Yunia Artika Putri¹, Sudarti², Yushardi³

¹ Mahasiswa Pendidikan Fisika, Universitas Jember

^{1,2,3} Dosen Pendidikan Fisika, Universitas Jember

Abstract

Received: 4 Oktober 2024

Revised: 13 Oktober 2024

Accepted: 29 Oktober 2024

Acid rain is a global environmental problem that is always a hot topic. Acid rain occurs when gases produced from burning motor vehicle fuel and natural activities such as carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO) react with water vapor (H₂O) which has been mixed with other compounds from the evaporation process. This reaction produces carbonic acid (H₂CO₃), which is a type of weak acid. In addition, gases produced from burning or heating sulfur, such as hydrogen sulfide (H₂S) and sulfur oxide (SO₂), will react with water vapor (H₂O) to form sulfuric acid (H₂SO₄), which is a type of strong acid. The problems that arise due to acid rain make researchers flock to find solutions to this acid rain. In this article the author will discuss various solutions that can be applied to overcome the impacts caused by acid rain. By studying appropriate and reliable literature, the author has prepared an article that will contain the impacts and solutions that must be applied to solve the problems caused by acid rain.

Keywords: Acid rain, acid rain simulation, environment, air pollution, pollution.

(*) Corresponding Author: imcitra0625@gmail.com

How to Cite: Putri, M. C., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2025). Mekanisme Hujan Asam dan Dampak bagi Kehidupan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11(1), 149-156. Retrieved from <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/9497>

PENDAHULUAN

Hujan asam merupakan salah satu masalah lingkungan global yang selalu menjadi topik hangat. Hujan asam adalah salah satu masalah lingkungan hidup yang paling penting selama dekade terakhir abad ke-20. Hal ini menjadi sebuah terobosan baru baik dari segi ilmiah maupun kebijakan. Selama beberapa waktu, khususnya pada tahun 1980an, hujan asam oleh banyak orang dianggap sebagai salah satu ancaman lingkungan terbesar pada saat itu (Grennfelt *et al.*, 2020).

Hujan asam adalah fenomena lingkungan yang terjadi ketika atmosfer terkontaminasi oleh berbagai polutan, hujan asam sendiri berdampak pada berbagai bidang kehidupan seperti pada kesehatan, industri, pangan, pertanian, bahkan pembangunan. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan pokok bahasan dampak dari hujan asam dari berbagai sektor.

Hujan asam terutama terdiri dari larutan asam sulfat dan asam nitrat, yang dapat memperburuk sifat mekanik tanah dan dengan demikian mengancam keselamatan rekayasa tanah. Hujan asam membuat porositas sampel loess menjadi lebih besar, dan mengubah distribusi pori dan kontak butiran tanah, sehingga sifat mekanik sampel loess bervariasi dalam beberapa derajat. Dengan menurunnya nilai pH, baik nilai puncak tegangan deviatorik maupun kontraksi volumetrik sampel loess mengalami penurunan, sehingga menurunkan parameter kekuatan geser sampel loess (Ye *et al.*, 2022). Polusi hujan asam dapat berdampak pada penyakit

tanaman dengan mengubah metabolisme fisiologis dan/atau sistem ketahanan penyakit pada tanaman inang (Li *et al.*, 2020).

Polusi udara telah menjadi masalah jangka panjang, terutama di daerah perkotaan, yang pada akhirnya mempercepat pembentukan hujan asam (AR), namun baru-baru ini hal ini telah muncul sebagai masalah lingkungan yang serius di seluruh dunia karena pertumbuhan industri dan ekonomi, dan hal ini juga menjadi pertimbangan. tekanan abiotik yang besar pada pertanian. Bukti menunjukkan bahwa AR memberikan efek berbahaya pada tanaman, terutama pada pertumbuhan, aktivitas fotosintesis, aktivitas antioksidan, dan perubahan molekuler (Debnath *et al.*, 2021).

Hujan asam (AR), sebagai ancaman lingkungan global, mempunyai dampak yang sangat buruk terhadap ekosistem tanah alami. Mikroorganisme yang terlibat dalam siklus nitrogen (N) mengatur keseimbangan N global dan stabilisasi iklim, namun sedikit yang diketahui apakah dan bagaimana AR mempengaruhi struktur dan kompleksitas komunitas mikroba ini (Liu *et al.*, 2021). Erosi hujan asam dapat menurunkan daya rekat antara aspal dan agregat secara signifikan, serta mempengaruhi kinerja jalan pada campuran aspal. Erosi hujan asam dapat menurunkan sifat mekanik, daya rekat, dan ketahanan campuran aspal secara signifikan (Wei *et al.*, 2022). Gas rumah kaca dapat menyebabkan hujan asam yang pada gilirannya menurunkan sifat kimia tanah. SAR mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sifat kimia tanah dan air lindinya (Ibrahim *et al.*, 2024).

Dengan berkembangnya peradaban, meningkatnya konsumsi, berkembangnya industri peternakan, dan produksi barang, jumlah pencemaran yang masuk ke lingkungan alam semakin meningkat. Logam berat merupakan salah satu bahan pencemar yang sangat berbahaya dan mempunyai dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan hewan. Sumber logam berat antara lain air limbah dari berbagai industri dan air limbah domestik. Air limbah ini dialirkan ke instalasi pengolahan air limbah, dimana salah satu produk sampingan dari proses pengolahan tersebut adalah lumpur limbah, dimana logam berat dapat terakumulasi. Penggunaan lumpur limbah tersebut untuk tujuan pemupukan di bidang pertanian dapat menyebabkan pelepasan logam berat yang tidak terkendali ke dalam, misalnya sereal, sayuran, buah-buahan, dan kemudian setelah dikonsumsi ke organisme hidup, berkontribusi terhadap pembentukan, misalnya kanker dan ginjal dan penyakit hati (Lejwoda *et al.*, 2023). Komposisi kimia dalam presipitasi terus berubah, sehingga jenis hujan asam berangsur-angsur berubah dari tipe sulfur menjadi tipe campuran dan kemudian tipe nitrat. Pengaruh perubahan jenis hujan asam terhadap tanah rizosfer spesies pohon masih belum jelas. Percobaan pot dilakukan pada bibit Pinus Massoniana, Cunninghamia lanceolate, Cyclobalanopsis glauca dan Phyllostachys edulis berumur dua tahun dengan kondisi pertumbuhan serupa (Li *et al.*, 2021).

Hujan asam dengan keasaman tinggi mendorong pertumbuhan mikroorganisme tanah (misalnya bakteri, bakteri gram positif, dan actinomycete) pada tahap awal, namun menghambat pertumbuhan mikroba (yaitu bakteri gram negatif) pada tahap selanjutnya. Menariknya, hujan asam dengan keasaman rendah cenderung mendorong pertumbuhan mikroorganisme tanah (misalnya bakteri, bakteri gram positif, dan aktinomisetes) dengan masukan hujan asam yang terus menerus (Liu *et al.*, 2021).

Permasalahan yang muncul akibat adanya hujan asam membuat para peneliti berbondong-bondong mencari solusi penyelesaian dari adanya hujan asam ini. Dalam artikel ini penulis akan membahas berbagai solusi yang bisa diterapkan untuk menanggulangi dampak-dampak yang diakibatkan oleh hujan asam. Dengan studi literatur yang sesuai dan terpercaya, penulis menyusun artikel yang akan memuat dampak serta solusi apa yang harus diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan yang ditimbulkan hujan asam.

METODE

Adapun metode yang digunakan pada artikel ini adalah *systematic literature review* yang mana penulis menggunakan beberapa artikel terkait dengan topik yang sama. Penulis memilah beberapa artikel dengan topik pembahasan hujan asam dan menggunakan sebanyak 22 artikel sebagai bahan literatur yang digunakan. Kriteria artikel yang dipilih oleh penulis adalah artikel berbasis nasional dan internasional dengan kemutakhiran 5 tahun terakhir yaitu antara 2019-2024, dengan kata kunci hujan asam, simulasi hujan asam, lingkungan, polusi, dan polusi udara. Selanjutnya dilakukan analisis dan evaluasi literatur untuk menemukan cakupan pembahasan yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah itu sejumlah informasi tersebut disusun dan dikembangkan sebagai hasil penelitian untuk selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berikut dilampirkan dalam tabel 1 hasil tinjauan beberapa artikel terkait topik bahasan yang ditulis oleh penulis, dilampirkan 3 hasil yang relevan terkait dengan sektor kesehatan, sektor pembangunan, dan sektor pertanian.

Sumber Literatur	Hasil penelitian
Ma, dkk. 2022. Influence of Alkali-Activators on Acid Rain Resistance of Geopolymer-Recycled Pervious Concrete with Optimal Pore Size.	Hasilnya menunjukkan bahwa sifat mekanik GRPC sangat baik, kuat tekan GRPCH+N mencapai lebih dari 60,1 MPa, dan kuat tarik belahnya mencapai lebih dari 5,9 MPa, sehingga memenuhi persyaratan kekuatan jalan untuk beban lalu lintas yang berat. Mengingat sifat mekanik dan efek pemurnian hujan asam dari GRPC basa diperlukan koefisien permeabilitas yang relatif kecil; ukuran pori optimal adalah 1 mm. Ketika spesimen dengan ukuran pori optimal terkena larutan asam, produk korosi (gypsum) akan menyumbat pori-pori GRPC untuk menghambat korosi lebih lanjut, sehingga menjaga kestabilan kuat tekan. GRPC yang diaktivasi oleh campuran NaOH dan Na ₂ SiO ₃ menghasilkan struktur jaringan tiga dimensi amorf yang lebih stabil, memberikan GRPCH+N sifat mekanik dan ketahanan korosi asam yang

	lebih baik.
Massa dkk. 2023. <u>Effects of synthetic acid rain and organic and inorganic acids on survival and CaCO₃ piercing stylets in tardigrades.</u>	Studi ini menunjukkan bahwa hujan asam dan asam lainnya yang diuji berdampak negatif terhadap tardigrade sesuai dengan pH, waktu pemaparan, dan spesies tardigrade. Spesies air tawar menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap keasaman dibandingkan spesies yang tinggal di lumut, yang dapat menyesuaikan diri lebih baik terhadap pH rendah seiring waktu. Hasil stylet tidak berubah pada hampir semua spesimen hidup. Hasilnya menunjukkan bahwa taksa tardigrades yang diuji memiliki kemampuan untuk menahan perubahan proton di lingkungan dan dampak negatifnya terhadap populasi mereka dapat diatasi.
Ibrahim,dkk. 2024. Impact of simulated acid rain on chemical properties of Nyalau series soil and its leachate.	Dari penelitian tersebut, SAR mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap sifat kimia tanah dan air lindinya. Perlakuan SAR pH 3,5 menurunkan pH tanah, K ⁺ , dan indeks kesuburan. Sebaliknya, kandungan Mg ²⁺ , Na ⁺ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , dan keasaman lebih tinggi pada pH SAR yang lebih rendah. Selanjutnya K ⁺ dan Mg ²⁺ dalam lindi meningkat secara signifikan seiring dengan meningkatnya keasaman SAR. Perubahan Ca ²⁺ dan NH ₄ ⁺ antara tanah dan air lindi berkorelasi positif (r = 0,84 dan 0,86), sedangkan perubahan NO ₃ ⁻ berkorelasi negatif (r = - 0,82). Kebaruan dari hasil ini terletak pada penemuan perubahan signifikan dalam kimia tanah akibat simulasi hujan asam (SAR), khususnya yang berdampak pada kesuburan tanah dan ketersediaan unsur hara, dengan korelasi positif dan negatif yang mencolok di antara ion-ion tertentu di mana paparan hujan asam dalam waktu lama dapat berdampak negative, yang cukup toleran terhadap tanah masam dan miskin unsur hara.

Pembahasan

Menurut Alfiandy dan kawan kawan, hujan asam adalah hujan akibat dari suatu proses pencampuran antara air hujan dengan partikel debu dan gas rumah kaca, hujan yang turun dan sampai di permukaan bumi akan menjadi asam atau memiliki nilai derajat keasaman (pH) yang rendah bahkan sangat rendah yakni <5,6. Hujan asam terjadi ketika gas-gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor dan aktivitas alam seperti karbon dioksida (CO₂) dan karbon monoksida (CO) bereaksi dengan uap air (H₂O) yang

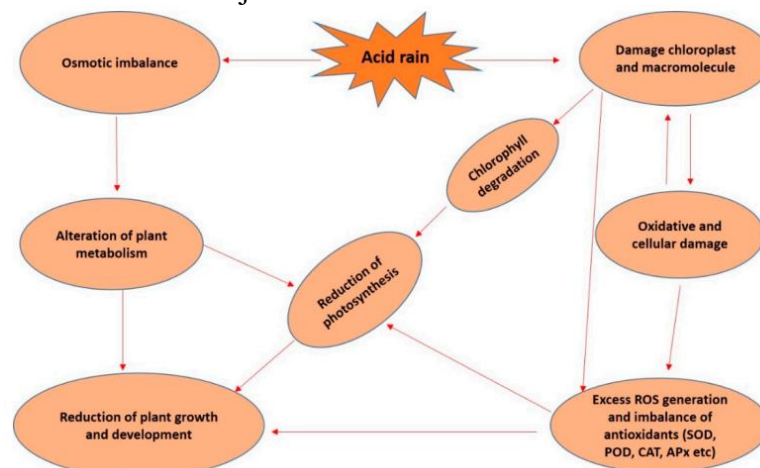
telah tercampur dengan senyawa lain dari proses penguapan. Reaksi ini menghasilkan asam karbonat (H_2CO_3), yang merupakan jenis asam lemah. Selain itu, gas yang dihasilkan dari pembakaran atau pemanasan belerang, seperti hidrogen sulfida (H_2S) dan sulfur oksida (SO_2), akan bereaksi dengan uap air (H_2O) membentuk asam sulfat (H_2SO_4), yang termasuk dalam jenis asam kuat. Disajikan bagan mekanisme hujan asam pada gambar di bawah ini :



Gambar 1. Bagan Mekanisme Hujan Asam

(Sumber : <https://www.climate4life.info/2020/02/fenomena-hujan-asam-penyebab-dan-proses-terjadinya.html>)

Beberapa kasus permasalahan yang diakibatkan oleh hujan asam berdampak pada tanaman seperti pada penelitian yang telah dilakukan oleh Debnath B dan kawan-kawan yang menghasilkan bahwa dalam tinjauannya, mereka menunjukkan bahwa silikon (metalloid tetravalen dan semi-konduktor), glutathione (tiol tripeptida bebas) dan melatonin (molekul indoleamine dengan berat molekul rendah) bertindak sebagai pengatur pertumbuhan, bio-stimulator, dan antioksidan yang berpengaruh, yang meningkatkan pertumbuhan tanaman. potensi, spontanitas fotosintesis, keseimbangan redoks dan sistem pertahanan antioksidan melalui pendinginan spesies oksigen reaktif (ROS) secara langsung dan/atau tidak langsung dalam kondisi stres akibat hujan asam.



Gambar 2. Bagan proses hujan asam menekan fotosintesis, sistem antioksidan dan pertumbuhan tanaman.

(Sumber : *journal molecules*. 202)

Kasus lain terjadi pada aspek pembangunan, seperti pada penelitian milik Ma Q dan kawan kawan yang meneliti tentang ketahanan beton tembus air daur ulang geopolymer (GRPC) yang hasil penelitiannya menunjukkan bahwa sifat mekanik beton tembus air daur ulang geopolymer sangat baik, kuat tekan GRPCH+N mencapai lebih dari 60,1 MPa, dan kuat tarik belahnya mencapai lebih dari 5,9 MPa, sehingga memenuhi persyaratan kekuatan jalan untuk beban lalu lintas yang berat. Mengingat sifat mekanik dan efek pemurnian hujan asam dari GRPC basa diperlukan koefisien permeabilitas yang relatif kecil; ukuran pori optimal adalah 1 mm. Ketika spesimen dengan ukuran pori optimal terkena larutan asam, produk korosi (gypsum) akan menyumbat pori-pori GRPC untuk menghambat korosi lebih lanjut, sehingga menjaga kestabilan kuat tekan. GRPC yang diaktivasi oleh campuran NaOH dan Na₂SiO₃ menghasilkan struktur jaringan tiga dimensi amorf yang lebih stabil, memberikan GRPCH+N sifat mekanik dan ketahanan korosi asam yang lebih baik.

KESIMPULAN

Hujan asam terjadi karena aktivitas kehidupan sehari-hari manusia, seperti aktivitas pabrik yang menghasilkan polusi udara dari gas pembuangan pabrik (asap pabrik) dan kegiatan sederhana seperti menaiki kendaraan bermotor yang menghasilkan gas akibat proses pembakaran bahan bakar berupa CO₂ (karbondioksida), gas tersebut akan bereaksi dengan H₂O (uap air) yang juga tercampur dengan zat-zat lain saat penguapan dan akan menghasilkan H₂CO₃ (asam karbonat) yang bersifat asam lemah. Adapun gas pembakaran alami yang dihasilkan oleh pembakaran atau pemanasan belerang seperti SO₂ (sulfur dioksida) yang bereaksi dengan H₂O (uap air) akan membentuk H₂SO₄ (asam sulfat) yang bersifat asam kuat. Hasil pencampuran inilah yang akan membuat hujan biasa menjadi hujan asam, proses terjadinya hujan asam terjadi akibat banyaknya gas polusi yang terbentuk di daerah tersebut, hal ini jelas sekali dengan bukti nyata bahwa hujan asam sering terjadi di negara-negara industri.

Pada berbagai kasus dan dampak yang diakibatkan oleh hujan asam, seperti pada aspek Kesehatan bahkan pada aspek Pembangunan, dan terus akan merambat pada aspek lain seperti ekonomi. Berbagai hasil telah didapatkan, dimana setiap kasus memiliki penanganannya masing-masing. Tidak semua kasus memiliki hasil penyelesaian yang sama dengan kasus yang lain, seperti pada penelitian yang mengungkap tentang Kesehatan hasil yang diinginkan adalah penyelesaian penyakit atau bahkan obat yang sangat manjur dan berguna bagi manusia namun beberapa penelitian mengacu pada pencegahan penyakit yang disebabkan oleh hujan asam. Pada penelitian yang mengungkap tentang Pembangunan mendapatkan hasil berupa pencegahan dan penanggulangan, beberapa penelitian menghasilkan pengembangan aspek pembangunan. Dapat disimpulkan bahwa permasalahan hujan asam memiliki dampak dalam berbagai aspek kehidupan akan tetapi hal ini dapat dicegah dengan memberikan pemahaman terlebih tentang hujan asam itu sendiri.

SARAN

Meninjau dari dampak yang telah di paparkan penulis dalam artikel, didapatkan beberapa saran seperti pengurangan emisi gas polutan dimana hal ini dapat dilakukan dengan beralih ke sumber energi terbarukan, meningkatkan efisiensi energi, dan menerapkan kontrol emisi yang lebih ketat pada industri dan kendaraan. Masyarakat bisa menerapkan pelestarian hutan dimana hutan bertindak sebagai filter udara alami yang membantu menyerap polutan dan mengurangi dampak hujan asam. Pemerintah dapat mengadakan sosialisasi guna meningkatkan kesadaran masyarakat tentang bahaya hujan asam dan mendorong mereka untuk mengambil tindakan untuk mengurangi emisi gas polutan.

REFERENSI

- Chen X, Zhang J, Wei H. 2020. Physiological Responses of Earthworm Under Acid Rain Stress. *Int J Environ Res Public Health*.
- Debnath B, Sikdar A, Islam S, Hasan K, Li M, Qiu D. 2021. Physiological and Molecular Responses to Acid Rain Stress in Plants and the Impact of Melatonin, Glutathione and Silicon in the Amendment of Plant Acid Rain Stress. *Molecules*.
- Grennfelt P, Engleryd A, Forsius M, Hov Ø, Rodhe H, Cowling E. 2020. Acid Rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy.
- He M, Hua Z, Chen H, Liu Y, Li Y, Zhang Z. 2022. Effects of simulated acid rain on rhizosphere microorganisms of invasive Alternanthera philoxeroides and native Alternanthera sessilis. *Front Microbiol*.
- Huang YG, Wang GY, Liu S, Tao J. 2023. Influence of acid rain and root reinforcement coupling factors on disintegration characteristics of expansive soil. *PLoS One*.
- Ibrahim MH, Kasim S, Ahmed OH, Mohd Rakib MR, Hasbullah NA, Islam Shajib MT. 2024. Impact of simulated acid rain on chemical properties of Nyalau series soil and its leachate. *Sci Rep*.
- Lejwoda P, Świnder H, Thomas M. 2023. Evaluation of the stability of heavy metal-containing sediments obtained in the wastewater treatment processes with the use of various precipitating agents. *Environ Monit Assess*.
- Li HR, Xiang HM, Zhong JW, Ren XQ, Wei H, Zhang JE, Xu QY, Zhao BL. 2020. Acid Rain Increases Impact of Rice Blast on Crop Health via Inhibition of Resistance Enzymes. *Plants (Basel)*.
- Likens GE. 2021. Ambio's legacy on monitoring, impact, and management of acid rain : This article belongs to Ambio's 50th Anniversary Collection. Theme: Acidification. *Ambio*.
- Li Y, Wang Y, Zhang W. 2021. Impact of simulated acid rain on the composition of soil microbial communities and soil respiration in typical subtropical forests in Southwest China. *Ecotoxicol Environ Saf*.
- Li X, Wang Y, Zhang Y, Wang Y, Pei C. 2021. Response of soil chemical properties and enzyme activity of four species in the Three Gorges Reservoir area to simulated acid rain. *Ecotoxicol Environ Saf*.

- Liu Z, Wei H, Zhang J, Saleem M, He Y, Zhong J, Ma R. 2021. Seasonality regulates the effects of acid rain on microbial community in a subtropical agricultural soil of Southern China. *Ecotoxicol Environ Saf.*
- Liu Z, Wei H, Zhang J, Wang T, He Y, Zhong J, Ma R. 2022. Increasing acid rain frequency promotes the microbial community dissimilarities of forest soil rather than agricultural soil in southern China. *Ecotoxicol Environ Saf.*
- Liu Z, Wei H, Zhang J, Saleem M, He Y, Zhong J, Ma R. 2021. Higher Sensitivity of Microbial Network Than Community Structure under Acid Rain. *Microorganisms.*
- Massa E, Rebecchi L, Guidetti R. 2023. Effects of synthetic acid rain and organic and inorganic acids on survival and CaCO₃ piercing stylets in tardigrades. *J Exp Zool A Ecol Integr Physiol.*
- Ma Q, Yang W, Duan Z, Liu H, Hua M, Deng Q. 2022. Influence of Alkali-Activators on Acid Rain Resistance of Geopolymer-Recycled Pervious Concrete with Optimal Pore Size. *Materials (Basel).*
- Menezes F, Popowicz GM. 2022. Acid Rain and Flue Gas: Quantum Chemical Hydrolysis of NO₂. *Chemphyschem.*
- Rodríguez-Sánchez VM, Rosas U, Calva-Vásquez G, Sandoval-Zapotitla E. 2020. Does Acid Rain Alter the Leaf Anatomy and Photosynthetic Pigments in Urban Trees?. *Plants (Basel).*
- Rosseland BO. 2021. The legacy from the 50 years of acid rain research, forming present and future research and monitoring of ecosystem impact : This article belongs to Ambio's 50th Anniversary Collection. Theme: Acidification. *Ambio.*
- Wei J, Chen Q, Du J, Liu K, Jiang K. 2022. Study on the Durability of Acid Rain Erosion-Resistant Asphalt Mixtures. *Materials (Basel).*
- Ye X, Chen C, Liu E, Di B, Yu Y. 2022. Mechanical behavior and constitutive model for loess samples under simulated acid rain conditions. *Sci Rep.*
- Zha F, Liu C, Kang B, Yang X, Zhou Y, Yang C. 2021. Acid rain leaching behavior of Zn-contaminated soils solidified/stabilized using cement-soda residue. *Chemosphere.*