

## Analisis Dampak Paparan Hujan Asam Terhadap Perubahan Kilap Permukaan Cat Kendaraan Ringan

Yusep Sukrawan<sup>1</sup>, Ricky Darmawan<sup>2</sup>, Ridwan Adam Muhamad Noor<sup>3</sup>, Tatang Permana<sup>4</sup>, Gilang Ciptadi Mahatkarsa<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia

<sup>4,5,6</sup>Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia

Email: [yuusepsukrawan@upi.edu](mailto:yuusepsukrawan@upi.edu)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak paparan hujan asam terhadap perubahan kilap permukaan cat bodi kendaraan ringan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan pendekatan deskriptif kualitatif melalui simulasi hujan asam menggunakan campuran larutan Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan Asam Nitrat ( $HNO_3$ ) dengan *Potentian Hydrogen* (PH) 3–4. Sampel berupa panel *fender* kendaraan dibagi menjadi 7 panel kontrol, paparan 7 hari, dan paparan 14 hari dengan frekuensi paparan tiga kali per hari selama 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan hujan asam menyebabkan penurunan kilap permukaan cat, berkurangnya efek *hydrophobic*, serta munculnya *water spot* akibat residu asam pada permukaan *clear coat*. Parahitas kerusakan meningkat seiring bertambahnya durasi paparan, sampel 14 hari menunjukkan perubahan visual yang lebih signifikan dibandingkan sampel 7 hari. Penelitian ini menunjukkan bahwa hujan asam berpotensi mempercepat degradasi awal permukaan cat kendaraan ringan, khususnya pada kendaraan tanpa lapisan perlindungan tambahan.

**Kata kunci:** Hujan asam, dampak hujan asam, simulasi hujan asam, perawatan cat.

### A. PENDAHULUAN

Hujan asam merupakan salah satu permasalahan lingkungan global yang muncul sebagai konsekuensi langsung dari peningkatan aktivitas industri dan transportasi di kawasan perkotaan (Putri, dkk., 2025). Menurut Tarumingkeng (2024) bahwa hujan asam terjadi akibat reaksi gas Sulfur Dioksida ( $SO_2$ ) dan Nitrogen Oksida ( $NO_x$ ) dengan uap air ( $H_2O$ ) di atmosfer, sehingga terbentuk senyawa Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan Asam Nitrat ( $HNO_3$ ). Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) merupakan salah satu komponen utama penyusun hujan asam yang terbentuk dari reaksi gas Sulfur Oksida ( $SO_2$ ) dengan oksigen dan uap air ( $H_2O$ ) sehingga terbentuk  $H_2SO_4$ . Selama beberapa waktu, khususnya pada tahun 1980an, hujan asam oleh banyak orang dianggap sebagai salah satu ancaman lingkungan terbesar pada saat itu (Grennfelt dkk. 2020). Wibisino (2025) menjelaskan bahwa asam sulfat digolongkan sebagai asam kuat dan bersifat sangat korosif terhadap berbagai material seperti logam dan polimer. Sulfur Oksida ( $SO_2$ ) yang dilepaskan ke atmosfer dari aktivitas industri seperti Pembangkit Listrik Tenaga Batu Bara (PLTB), industri yang menggunakan

batu bara sebagai bahan bakar seperti pabrik peleburan logam, dan pabrik semen. Sisa pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor akan mengalami oksidasi menjadi Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) kemudian bereaksi dengan air, udara sehingga terbentuk senyawa asam nitrat (HNO<sub>3</sub>). Putri dkk. (2025) menguatkan bahwa asam nitrat terbentuk dari reaksi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) yang dihasilkan oleh emisi kendaraan bermotor dan pembakaran bahan bakar fosil, kemudian mengalami oksidasi dan bereaksi dengan uap air di atmosfer sehingga terbentuk senyawa HNO<sub>3</sub>. Hasil reaksi kimia tersebut mengakibatkan hujan yang turun memiliki tingkat PH lebih rendah dari kondisi alami sekitar pH 4 sampai 4,2. Menurut *United States Environmental Protection Agency (EPA, 2025)* menjelaskan bahwa “*acid rain can damage buildings and materials, including stone and metals, and can accelerate the deterioration of exposed surfaces*” [Hujan asam dapat merusak bangunan dan material, termasuk batu dan logam, serta dapat mempercepat kerusakan permukaan yang terpapar]. Kutipan tersebut menjelaskan bahwa hujan asam dapat merusak batuan bangunan, mempercepat korosi logam, serta menurunkan kualitas permukaan material yang terpapar secara langsung dalam jangka waktu tertentu. Objek yang rentan terpapar hujan asam adalah permukaan cat pada bodi kendaraan ringan, terutama pada cat yang tidak diberikan lapisan pelindung (*Coating*) sehingga dapat mempercepat perubahan kilap yang diakibatkan oleh hujan asam.

*Clear coat* merupakan lapisan terluar dari cat kendaraan dan dirancang untuk memberikan perlindungan dari faktor lingkungan sekaligus mempertahankan nilai estetika melalui kilap pada permukaan bodi kendaraan ringan. Arrosyid (2025) menjelaskan bahwa Paparan hujan asam bersifat korosif sehingga berpotensi menyebabkan reaksi kimia pada lapisan *clear coat*, seperti degradasi resin, meningkatnya mikroporositas, serta penurunan tingkat Gloss atau kilap. Perubahan tersebut umumnya diawali oleh degradasi awal pada permukaan yang bersifat mikrostruktural sebelum berkembang menjadi kerusakan yang lebih permanen. Degradasi awal umumnya ditunjukkan dengan munculnya Water spot pada permukaan bodi kendaraan ringan. Pendapat tersebut dikuatkan oleh Ma dkk. (2022) menjelaskan bahwa paparan hujan asam menyebabkan pelarutan mineral, pembentukan korosi, serta perubahan mikrostruktur pada material konstruksi.

Wei dkk. (2022) menjelaskan bahwa paparan hujan asam dapat menurunkan ketahanan struktural material aspal akibat interaksi kimia antara komponen aspal dan larutan asam, sehingga berdampak pada penurunan stabilitas serta daya rekat internal. Pendapat tersebut dikuatkan oleh Ma dkk. (2022) bahwa hujan asam berpengaruh terhadap ketahanan beton melalui proses pelarutan kalsium dan peningkatan porositas. Kutipan tersebut menjelaskan bahwa hujan asam mempengaruhi *durability* terhadap sebuah material dan mengindikasikan bahwa paparan hujan asam berpotensi memicu perubahan mikrostruktural pada berbagai jenis material. Paparan larutan asam dengan PH rendah secara teoritis dapat menyebabkan perubahan sifat permukaan.

Beberapa penelitian menggunakan pendekatan simulasi hujan asam untuk memahami dampak paparan asam secara terkontrol. Ibrahim dkk. (2024) menjelaskan bahwa simulasi hujan asam merupakan metode pengujian laboratorium yang digunakan untuk meniru kondisi presipitasi asam di lingkungan nyata dengan mengatur tingkat keasaman (PH), frekuensi, serta durasi paparan terhadap material yang diuji. Sembiring (2025) menjelaskan simulasi hujan asam umum digunakan dalam penelitian material untuk

memahami mekanisme degradasi akibat lingkungan dengan lebih cepat atau disebut *accelerated environmental exposure*. Liu dkk. (2022) menjelaskan bahwa paparan yang dikendalikan melalui frekuensi dan durasi memiliki peran penting dalam mempercepat proses perubahan material. Pendapat tersebut dikuatkan Massa dkk. (2023) menegaskan bahwa tingkat keasaman dan waktu paparan merupakan faktor kunci dalam menentukan tingkat kerusakan material oleh hujan asam. Kutipan tersebut menjelaskan bahwa teknik simulasi hujan asam dengan PH yang menyerupai kondisi nyata disertai dengan durasi simulasi paparan hujan asam menjadi faktor utama dalam menentukan kerusakan pada sebuah material. Meskipun objek kajian penelitian tersebut kurang relevan dengan objek pada penelitian ini, namun dapat menjadi dasar metodologis yang kuat untuk diaplikasikan pada pengujian simulasi dampak paparan hujan asam terhadap perubahan kilap pada permukaan cat kendaraan

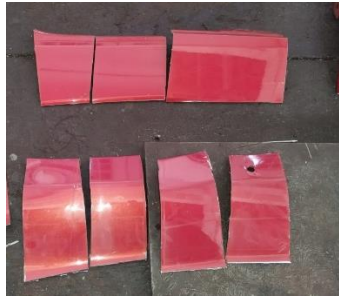
Kajian eksperimental mengenai dampak hujan asam terhadap perubahan kilap permukaan cat kendaraan masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian lebih menekankan pada aspek lingkungan alami seperti tanah, air, vegetasi serta kerusakan struktur seperti beton. Perubahan visual seperti kilap permukaan cat kendaraan belum banyak dikaji secara mendalam. Penelitian ini memiliki kebaruan dengan memfokuskan analisis pada perubahan kilap permukaan cat akibat paparan hujan asam melalui pendekatan simulasi yang merepresentasikan kondisi lingkungan perkotaan dan lingkungan yang berdekatan dengan industri yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar, seperti pabrik peleburan logam, pabrik semen, pabrik kertas dan pabrik kimia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh paparan hujan asam terhadap perubahan kilap permukaan cat bodi kendaraan ringan ringan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi perawatan dan perlindungan cat kendaraan, serta memperkaya kajian ilmiah di bidang otomotif yang berkaitan dengan dampak lingkungan terhadap material kendaraan.

## B. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Creswell (2014, hlm. 12) menjelaskan bahwa penelitian eksperimen digunakan untuk menguji pengaruh suatu perlakuan terhadap hasil tertentu melalui pengendalian variabel penelitian. Metode eksperimen digunakan untuk mengetahui pengaruh paparan larutan yang menyerupai hujan asam (larutan  $H_2SO_4$  dan  $HNO_3$  dengan PH 4) terhadap permukaan cat bodi kendaraan ringan melalui perlakuan secara terkontrol pada sampel uji. Sampel bodi kendaraan ringan yang diberikan paparan dibandingkan dengan sampel bodi kendaraan ringan yang tidak diberikan perlakuan. Sugiyono (2019) menjelaskan deskriptif kualitatif digunakan untuk menggambarkan atau menganalisis hasil penelitian tanpa membuat generalisasi yang luas. Pendekatan deskriptif kualitatif digunakan untuk menggambarkan perubahan visual yang terjadi pada permukaan cat kendaraan setelah paparan hujan asam. Pengamatan dilakukan terhadap perubahan kondisi kilap permukaan sebelum dan sesudah perlakuan simulasi hujan asam dan munculnya bercak (*water spot*) akibat residu asam sebagai tanda kerusakan awal permukaan cat.

## Tahapan Eksperimen dan Pengumpulan Data

### 1. Persiapan Sampel



Gambar 1. Pemetongan Plat Bodi Untuk Sampel Penelitian  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 1 menunjukkan proses pembagian panel *fender* yang akan digunakan sebagai sampel penelitian. Panel body kendaraan menggunakan panel *fender* bekas dengan kondisi cat original masih dalam kondisi baik. Tahapan selanjutnya pembuatan sampel dengan jumlah 7 bagian dengan ukuran 7x15 Cm. Sampel yang sudah disiapkan selanjutnya dibersihkan agar terbebas dari kotoran, minyak ataupun cairan *wax* yang sebelumnya pernah diaplikasikan, sehingga data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi permukaan cat yang tidak terlindungi oleh lapisan pelindung pada kondisi hujan asam di lingkungan padat kendaraan.

### 2. Pembuatan Larutan Hujan Asam



Gambar 2. Pemeriksaan Tingkat Keasaman Larutan Hujan dengan Kertas Lakmus  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 2 merupakan tahap pemeriksaan tingkat keasaman larutan  $H_2SO_4$  dan  $HNO_3$  menggunakan kertas lakmus agar berada pada PH 4 untuk merepresentasikan kondisi hujan asam nyata di lingkungan padat kendaraan. Larutan hujan asam dibuat menggunakan campuran  $H_2SO_4$  dan  $HNO_3$  dengan cara menyiapkan 1 liter Aquades, lalu menambahkan 6 tetes  $H_2SO_4$  dan 2 tetes  $HNO_3$ .

### 3. Proses Simulasi Paparan Hujan Asam



Gambar 3. Proses Simulasi Paparan Hujan Asam  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 3 menunjukkan proses simulasi paparan hujan asam. Sampel dipaparkan dengan larutan hujan asam sebanyak tiga kali dalam satu hari dengan durasi setiap paparan selama 60 menit. Variasi durasi paparan dibagi menjadi dua yaitu 7 hari dan 14 hari. 2 sampel digunakan untuk paparan 7 hari, 2 sampel lagi digunakan untuk paparan 14 hari, dan 2 sampel sisanya tidak mendapatkan paparan hujan asam agar dapat digunakan sebagai pembandingan antara kondisi semula dengan sampel yang sudah mendapatkan perlakuan hujan asam.

#### 4. Observasi dan Dokumentasi

Pengamatan dilakukan secara visual terhadap perubahan kilap, munculnya kusam, bercak atau *water spot*, dan perubahan kondisi pada permukaan cat. Seluruh perubahan didokumentasikan menggunakan foto sebagai data pendukung penelitian.

#### 5. Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan kondisi panel yang tidak mendapatkan paparan hujan asam dengan panel yang mendapatkan perlakuan hujan asam, baik itu variasi paparan 7 hari maupun variasi paparan 14 hari.

### C. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Simulasi Hujan Asam Pada Variasi Paparan 7 Hari



Gambar 4. Berkurangnya Efek Menolak Air Pada Permukaan Cat

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Hasil atau dampak paparan hujan asam dapat dilihat pada gambar 4. Hari pertama eksperimen sampel menunjukkan gejala kerusakan awal ditandai dengan berkurangnya efek menolak air atau *hydrofobic* pada permukaan cat. Kondisi tersebut akan berdampak buruk terhadap permukaan cat, presipitasi hujan asam tidak langsung mengalir sehingga dapat mengendap pada permukaan cat.



Gambar 5. Munculnya Water Spot Setelah Proses Pengeringan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 5 menunjukkan munculnya *water spot* pada permukaan cat setelah proses pengeringan akibat residu pada presipitasi hujan asam. Kondisi tersebut menunjukkan penurunan kilap secara visual dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.



Gambar 6. Perbandingan Antara Sampel Yang Tidak Mendapat Paparan Hujan Asam Dengan Sampel Variasi 7 Hari Paparan

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 6 merupakan perbandingan antara sampel yang tidak mendapatkan perlakuan hujan asam dengan sampel yang mendapatkan perlakuan hujan asam selama 7 hari berturut-turut. Sampel yang tidak mendapatkan paparan masih dalam kondisi yang baik dan mengkilap, sedangkan sampel yang mendapatkan perlakuan hujan asam selama 7 hari menunjukkan perubahan kilap ditandai dengan munculnya *water spot* akibat residu asam yang menempel pada permukaan cat-nya.

#### Hasil Simulasi Hujan Asam Pada Variasi Paparan 14 Hari



Gambar 7. Perbandingan Antara Sampel Variasi 7 hari dengan 14 hari, dan Perbandingan Sampel Yang Tidak Mendapat Paparan Hujan Asam Dengan Sampel Variasi 14 Hari paparan.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 7 menunjukkan dampak lanjutan paparan hujan asam yang dilakukan selama 14 hari. Hasilnya dampak paparan hujan asam variasi 14 hari menunjukkan gejala kerusakan yang lebih parah dibandingkan dengan variasi 7 hari. Sampel dengan variasi 14 hari terjadi penurunan kilap yang cukup signifikan. *Water spot* yang muncul pada permukaan cat jauh lebih banyak dibandingkan dengan sampel variasi paparan 7 hari.

### Hasil Perbandingan Perubahan Kilap Antar Sampel



Gambar 8. Perbandingan Antara Yang Tidak Mendapat Paparan Hujan Asam Dengan Sampel Variasi 7 hari Paparan dengan Variasi 14 Hari paparan.

(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 8 menunjukkan perbandingan dampak yang ditimbulkan dari perlakuan hujan asam dimulai dari sampel yang tidak mendapatkan perlakuan, dengan sampel variasi 7 hari dan dilanjutkan dengan sampel variasi 14 hari. Kondisi tersebut menunjukkan kerusakan atau perubahan kilap yang diakibatkan oleh paparan hujan asam bergantung pada frekuensi dan durasi paparan. Semakin tinggi frekuensi dan durasi paparan hujan asam maka dampak yang ditimbulkan akan lebih parah

#### Pembahasan

Hasil penelitian dampak paparan hujan asam terhadap permukaan cat kendaraan ringan menunjukkan dampak yang cukup signifikan dari paparan hujan asam. Panel Sampel pada hari pertama simulasi hujan asam sudah mulai menunjukkan gejala kerusakan mikro. Gejala kerusakan tersebut yaitu permukaan cat mulai kehilangan efek menolak air atau *hydrophobic*, sehingga presipitasi hujan asam tidak langsung mengalir dan beresiko munculnya bercak air atau *water spot*.

Dampak paparan hujan asam divariasikan menjadi 2 yaitu sampel dengan paparan 7 hari dan sampel dengan paparan 14 hari. Panel sampel pada hari ke 7 menunjukkan perubahan tingkat kilap. Terjadi penurunan kilap akibat munculnya bercak air atau *water spot* yang muncul pada permukaan cat sampel akibat residu yang dihasilkan dari paparan hujan asam. Menurut *United States Environmental Protection Agency*. (2025) menjelaskan bahwa paparan hujan asam dapat meninggalkan residu mineral dan senyawa asam setelah proses pengeringan, deposisi asam dapat mempercepat deteriorasi material melalui interaksi kimia pada permukaan material yang terpapar lingkungan asam. Kutipan tersebut menguatkan bahwa paparan hujan asam dapat mengakibatkan munculnya *water spot* yang menyebabkan permukaan cat terlihat kusam dan mengurangi tingkat kilap permukaan. Residu asam yang terjadi secara instan dapat meningkatkan kekasaran mikro pada lapisan clear coat sehingga mempercepat degradasi permukaan cat kendaraan. Simulasi paparan hujan asam dilanjutkan hingga ke hari 14 dan menunjukkan perubahan kilap yang cukup signifikan dibandingkan dengan panel sampel variasi 7 hari. *Water spot* yang ditimbulkan pada hari ke 14 jauh lebih parah sehingga permukaan cat tampak lebih kusam dibandingkan pada hari ke 7.

Dampak yang ditimbulkan dari paparan hujan asam menunjukkan gejala

kerusakan awal pada permukaan cat dan tergolong pada kerusakan ringan. Paparan hujan asam yang parah disertai minimnya lapisan perlindungan cat (coating) dapat mempercepat laju degradasi pada permukaan cat. Jika kondisi tersebut berlanjut maka akan menimbulkan kerusakan yang lebih parah, seperti terkikisnya lapisan *clear coat* yang berdampak pada kerusakan lapisan inti cat sehingga perlu dilakukan pengecatan ulang (*repaint*) agar tampilan cat kendaraan kembali pada kondisi semula. Kondisi tersebut dapat berpengaruh terhadap nilai jual kembali kendaraan akibat kerusakan yang sebelumnya pernah terjadi.

Hasil temuan pada penelitian ini dapat merumuskan beberapa langkah penganggulangan masalah yang ditimbulkan dari paparan hujan asam. Langkah pertama yaitu selalu menjaga kebersihan *exterior* kendaraan dengan cara rutin mencuci kendaraan ringan khususnya setelah terkena paparan hujan. Langkah tersebut merupakan pencegahan awal agar residu mineral maupun asam pada air hujan tidak menempel pada permukaan cat. Pencegahan selanjutnya dapat dilakukan dengan cara melapisi cairan *wax* setelah mencuci kendaraan agar meminimalisir residu yang mengendap. Langkah utama yang sangat berdampak untuk melindungi permukaan cat adalah dengan cara melakukan *ceramic coating treatment* atau dapat juga melapisi permukaan cat dengan Paint Protection Film (PPF) agar cat original tetap terjaga dan pada kondisi yang sangat baik.

#### D. Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa paparan hujan asam dapat mengakibatkan perubahan kilap pada permukaan cat kendaraan ringan. Kondisi tersebut merupakan gejala kerusakan awal pada permukaan cat, ditandai dengan berkurangnya kemampuan *hydrophobic* dan munculnya *water spot* pada permukaan cat. Gejala tersebut dipengaruhi oleh residu mineral dan zat asam yang mengering pada permukaan cat kendaraan. Seiring dengan peningkatan frekuensi paparan hujan asam, maka sejalan dengan kerusakan yang ditimbulkannya. Langkah yang dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan yang semakin berat maka setiap pemilik kendaraan perlu menjaga kebersihan kendaraan khususnya setiap terkena paparan hujan dengan cara mencuci *exterior* kendaraan. Langkah tersebut bertujuan agar meminimalisir residu yang menempel pada permukaan cat. Aplikasikan *wax* setelah kendaraan dicuci agar visual body kendaraan tetap mengkilap. Pemilik kendaraan dapat melakukan perlindungan tambahan dengan cara *ceramic coating treatment* atau melapisi permukaannya dengan PPF agar cat original tetap terjaga, sehingga nilai ekonomi kendaraan (harga jual kembali) tetap terjaga.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arrosyid, A. R., Siswosukarto, S., & Setiawan, A. F. (n.d.). Mekanisme korosi dan perlindungannya dengan lapisan berbasis polimer.
- Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- Farid, M., & Rezky, M. (2026). ANALISA PERUBAHAN RASIO KOMPRESI TERHADAP KINERJA MESIN 1 CYLINDER 4 TAK 155 CC. *Auto Tech: Jurnal Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Muhammadiyah Purworejo*, 21(01), 117-124.

- 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. *Ambio*.
- 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*. *Frontiers in Microbiology*.
- Huang, Y. G., Wang, G. Y., Liu, S., & Tao, J. (2023). Influence of acid rain and root reinforcement coupling factors on disintegration characteristics of expansive soil. *PLoS One*.
- Liu, Y., Sun, Q., & Zhao, R. (2021). Cumulative effects of acid rain frequency on surface material degradation. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15), 19345–19356.
- Ma, L., Liu, J., & Wang, Z. (2022). Synergistic effects of sulfuric and nitric acid rain on material durability. *Construction and Building Materials*, 327, 126980.
- Massa, F., Romano, E., & Bianchi, L. (2023). Acid rain simulation as an accelerated method for environmental degradation studies. *Environmental Research*, 216, 114610.
- Menezes, F., & Popowicz, G. M. (2022). Acid rain and flue gas: Quantum chemical hydrolysis of NO(2). *ChemPhysChem*.
- Putri, A., dkk. (2025). Hujan asam: Proses pembentukan, karakteristik, dan dampaknya terhadap lingkungan dan material. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan*, 10(1), 15–28.
- Putri, M. C. Y. A., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2025). Mekanisme hujan asam dan dampak bagi kehidupan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11(1.A), 149–156.
- Rodríguez-Sánchez, V. M., 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, B. O. (2021). The legacy from the 50 years of acid rain research, forming present and future research and monitoring of ecosystem impact. *Ambio*.
- Sembiring, J. B. (2025). Pencemaran lingkungan: Sains kimia, aksi global (Vol. 1).
- Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Sukrawan, Y., Khoerunnisa, T., Saufan, A., Mahatkarsa, G. C., Noor, R. A. M., Mubarak, I., & Permana, T. (2026). ANALISIS KINERJA ALTERNATOR IC TERHADAP OUTPUT TEGANGAN PADA BEBAN LISTRIK KENDARAAN RINGAN. *Auto Tech: Jurnal Pendidikan Teknik Otomotif Universitas Muhammadiyah Purworejo*, 21(01), 41-50.
- Tarumingkeng, R. C. (2024). Hujan asam (Acid Rain). Jakarta.
- United States Environmental Protection Agency. (2023). Acid rain program overview. <https://www.epa.gov/acidrain>
- Wei, J., Chen, Q., Du, J., Liu, K., & Jiang, K. (2022). Study on the durability of acid rain erosion-resistant asphalt mixtures. *Materials (Basel)*.
- Wibisono, M. A. P., & Rasyid, A. H. A. (2025). Analisis pengaruh bahan coating pada material stainless steel 316L dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> terhadap laju korosi. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(04), 199–204.
- Zha, F., Liu, C., Kang, B., Yang, X., Zhou, Y., & Yang, C. (2021). Acid rain leaching behavior of Zn-contaminated soils solidified.