

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK DAUN SINGKONG DI DAERAH RAWAN KEMACETAN DENGAN DAERAH TIDAK RAWAN KEMACETAN

I Kadek Widianlara^{1*)}, Ida Ayu Anggara Sri Anjani¹⁾, Emanuel Dale¹⁾, Arnoldus Patrik Quivera Nanggor¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar, Bali

*Email korespondensi : widianlara@unmas.ac.id

ABSTRAK

Kendaraan motor yang semakin padat setiap tahunnya, menjadi permasalahan terhadap udara. Emisi kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara yang terjadi di daerah perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan karakteristik daun tanaman singkong yang tumbuh di lingkungan yang rawan kemacetan. Karena tingkat polusi yang tinggi menyebabkan adanya perubahan karakteristik pada permukaan daun. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil dua sampel daun di lokasi yang berbeda. (1) pinggir jalan yang padat kendaraan dan (2) daerah yang tidak padat kendaraan. Parameter yang diamati meliputi warna daun, tekstur daun, dan daun bagian belakang. Hasil menunjukkan bahwa daun singkong dari tinggi polusi mengalami perubahan warna (permukaan daun memiliki bercak kuning), daun berstruktur agak kasar, bagian belakang daun ada titik-titik hitam atau kotor, seperti sisa-sisa emisi kendaraan. Dibandingkan dengan daun yang diambil dari daerah yang tidak padat kendaraan. Temuan ini membuktikan bahwa emisi yang dihasilkan oleh kendaraan memiliki pengaruh terhadap daun tanaman.

Kata Kunci: Polusi udara, Emisi, Daun tanaman

ABSTRACT

The increasing number of motor vehicles each year has led to worsening air quality, with vehicle emissions being a major source of urban air pollution. This study aims to examine and compare the characteristics of cassava leaves growing in areas prone to traffic congestion. High pollution levels contribute to noticeable changes on the leaf surfaces. The research was conducted by collecting two leaf samples from different locations: (1) a roadside with heavy vehicle traffic and (2) a privately owned garden. The observed parameters included leaf color, texture, and the underside of the leaves. The results showed that cassava leaves exposed to high pollution levels experienced color changes (yellowish spots on the surface), rougher textures, and the presence of black dots or dirt particles on the underside, resembling vehicle emission residues. In contrast, leaves collected from the garden appeared unaffected by such conditions. These findings confirm that vehicle emissions significantly impact the characteristics of plant leaves.

Keywords : Air pollution, Emissions, Plant leaves

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi setiap tahunnya semakin berkembang pesat, salah satunya di bidang teknologi transportasi. Kemajuan teknologi ini diciptakan untuk membantu dan mempermudah kehidupan masyarakat sekitar. Kebutuhan dalam teknologi transportasi ini

berkembang seiring dengan pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi. Semakin tinggi jumlah masyarakat, maka kebutuhan mobilitas ini akan semakin meningkat. Teknologi transportasi ini sudah berkembang sangat pesat bahkan sudah diciptakannya mobil listrik dengan emisi yang rendah, tetapi belum semua masyarakat bisa membeli mobil listrik ini. Dan fasilitas untuk pengisian ulang baterai mobil listrik belum merata, hanya ada di beberapa titik saja.

Karena belum meratanya fasilitas pengisian ulang baterai mobil ini, masyarakat jadi enggan untuk membeli mobil listrik ini. Alasan lainnya juga karena harga mobil itu sendiri dan harga untuk pembelian baterai mobil. Maka dari itu masyarakat masih menggunakan mobil berbahan bakar bensin. Karena kebutuhan mobilitas yang tinggi menyebabkan kemacetan. Kemacetan ini lah yang dapat menyumbangkan emisi gas karbon yang tinggi. Emisi gas karbon ini adalah salah satu penyebab pencemaran udara yang terjadi. Emisi gas karbon ini dapat menyebabkan pencemaran udara karena mengandung beberapa zat, yaitu Karbon Monoksida, Nitrogen Oksida, Hidrokarbon, Karbon Dioksida, dll. Zat-zat ini lah yang menjadi penyumbang pencemaran udara. Selain menjadi pencemaran udara, zat-zat ini juga bisa mengganggu kesehatan, salah satunya bisa mengganggu pernapasan.

Daun singkong (*Manihot esculenta Crantz*) merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki nilai gizi tinggi dan sering digunakan dalam berbagai masakan. Selain itu, tanaman ini dikenal sebagai salah satu sumber pangan lokal yang mudah dibudidayakan. Namun, karakteristik pertumbuhan dan kualitas daun singkong dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi lingkungan dan tingkat polusi. Singkong (*Manihot esculenta Crantz*) merupakan salah satu tanaman pangan penting di Indonesia yang memiliki nilai gizi tinggi dan mampu tumbuh di berbagai kondisi lingkungan. Tidak hanya umbinya, daun singkong juga banyak dikonsumsi masyarakat karena mengandung protein, vitamin A, vitamin C, dan mineral seperti kalsium dan zat besi (Tamtomi *et al.*, 2018). Daun singkong memiliki karakteristik morfologis dan fisiologis yang dapat dipengaruhi oleh lingkungan tempat tumbuhnya. Faktor-faktor seperti kualitas udara, intensitas cahaya, suhu, dan tingkat pencemaran dapat menyebabkan perubahan pada ukuran daun, warna, jumlah stomata, serta kandungan klorofil (Shasabilah dan Retha, 2022). Salah satu sumber pencemaran utama di lingkungan perkotaan adalah polusi udara yang berasal dari lalu lintas kendaraan bermotor.

Daerah dengan lalu lintas tinggi atau rawan kemacetan cenderung memiliki konsentrasi polutan yang lebih besar, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan partikel debu (PM2.5 dan PM10) yang berasal dari emisi kendaraan (Kusminingrum, 2025). Polutan ini tidak hanya membahayakan kesehatan manusia, tetapi juga berdampak pada pertumbuhan dan struktur tanaman, termasuk daun singkong. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanaman yang tumbuh di sekitar jalan raya atau wilayah padat kendaraan mengalami perubahan fisiologis, termasuk penurunan kadar klorofil, peningkatan kadar logam berat dalam jaringan daun, serta perubahan bentuk daun sebagai respons terhadap stres lingkungan (Okereke *et al.*, 2020; Yana *et al.*, 2025).

Penelitian oleh Yana *et al.* (2025) menemukan bahwa daun singkong yang tumbuh di dekat jalan raya mengandung logam berat seperti timbal (Pb) dan tembaga (Cu) melebihi ambang batas aman. Hal ini menunjukkan adanya akumulasi polutan dari aktivitas lalu lintas ke jaringan tanaman. Demikian pula, Okereke *et al.* (2020) melaporkan bahwa daun singkong yang ditanam di lahan dekat jalan raya memiliki kadar logam berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh di lokasi yang lebih jauh dari sumber lalu lintas. Emisi kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara yang terjadi di daerah perkotaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan karakteristik daun tanaman singkong yang tumbuh di lingkungan yang rawan kemacetan. Karena tingkat polusi yang tinggi menyebabkan adanya perubahan karakteristik pada permukaan daun

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik daun singkong yang tumbuh di daerah rawan kemacetan dengan yang berada di daerah tidak rawan kemacetan. Dengan memahami perbedaan ini, diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai dampak lingkungan terhadap pertumbuhan tanaman dan memberikan rekomendasi bagi petani dalam memilih lokasi budidaya yang lebih baik. Analisis ini juga dapat berkontribusi pada pengembangan strategi pertanian berkelanjutan di tengah urbanisasi yang terus meningkat.

2. METODOLOGI

2.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Denpasar, Provinsi Bali. Titik pengambilan sampel dilakukan pada dua lokasi yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas kendaraan berbeda. Lokasi 1 (daerah dengan tingkat polusi tinggi) berada di Jalan Pulau Galang, tepatnya di sekitar perempatan Taman Pancing, yang merupakan area dengan arus lalu lintas padat terutama pada jam berangkat dan pulang kerja maupun sekolah. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan paparan polutan udara seperti partikulat (PM), karbon monoksida (CO), dan nitrogen dioksida (NO₂) terhadap vegetasi di sekitarnya. Sementara itu, Lokasi 2 (daerah dengan polusi rendah) merupakan kawasan yang relatif jauh dari kepadatan lalu lintas, dengan aktivitas kendaraan yang lebih jarang dan lingkungan yang lebih terbuka. Pemilihan kedua lokasi ini bertujuan untuk membandingkan pengaruh tingkat polusi udara terhadap kondisi morfologi daun tanaman. Dengan adanya perbedaan karakteristik lingkungan tersebut, diharapkan hasil pengamatan dapat memberikan gambaran mengenai respons tanaman terhadap tingkat pencemaran udara yang berbeda.

2.2 Sampel dan Parameter

Sampel tanaman yang diamati adalah spesies yang sama yaitu *Manihot esculenta* Crantz (ubi kayu), sehingga tidak terdapat perbedaan genetik yang dapat memengaruhi hasil pengamatan. Dari masing-masing lokasi diambil 5 helai daun dengan tingkat kematangan daun yang relatif sama untuk menjaga keseragaman sampel. Parameter pengamatan yang digunakan adalah parameter fisik daun meliputi warna daun, tekstur permukaan daun, kondisi bagian bawah daun, serta adanya kecacatan atau kerusakan

daun seperti bercak, nekrosis, atau sobekan. Pengamatan dilakukan secara visual dengan bantuan lup atau kaca pembesar untuk melihat perbedaan lebih detail. Selain itu, dokumentasi foto dilakukan untuk keperluan pembandingan dan analisis deskriptif. Hasil pengamatan kemudian dibandingkan antara kedua lokasi untuk menilai sejauh mana tingkat polusi udara memengaruhi kondisi fisik daun *Manihot esculenta* Crantz.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Warna Daun

Warna daun singkong dari lokasi tinggi polusi menunjukkan warna hijau dengan bercak kuning lebih banyak dibandingkan dengan daun singkong yang berasal dari lokasi rendah polusi.



Gambar 1. Daun yang diambil dari daerah yang tidak padat kendaraan
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025)



Gambar 2. Daun yang diambil dari daerah yang padat kendaraan
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025)

Gambar 1 menunjukkan daun singkong dengan warna hijau merata, permukaan daun tampak segar dan tidak mengalami kerusakan visual. Ciri ini menandakan bahwa tanaman tumbuh dalam kondisi lingkungan yang relatif bersih dan sehat, dengan tingkat pencemaran udara yang minimal. Sebaliknya, Gambar 2 memperlihatkan daun singkong yang mengalami perubahan warna, yaitu terdapat bercak-bercak kuning tidak merata pada permukaan daun. Bercak kuning tersebut umumnya menjadi indikasi adanya stres fisiologis atau gangguan metabolisme pada tanaman, yang sering kali disebabkan oleh paparan polutan seperti logam berat, ozon, atau senyawa oksidatif lainnya dari emisi kendaraan bermotor. Perbedaan visual ini mengindikasikan bahwa daun pada Gambar 2 kemungkinan besar berasal dari daerah dengan tingkat polusi udara yang lebih tinggi, seperti daerah rawan kemacetan, sedangkan daun pada Gambar 1 berasal dari lingkungan yang lebih bersih atau tidak rawan kemacetan.

3.2 Tekstur Daun

Tekstur daun dari lokasi tinggi polusi lebih bertekstur dan terasa lebih kasar daripada daun yang berada di lokasi rendah polusi. Sedangkan daun yang berasal dari lokasi rendah polusi teksturnya lebih halus. Berdasarkan hasil observasi, daun yang didapat dari daerah yang padat kendaraan lebih bertekstur karena adanya bercak kuning pada permukaan daun. Bagian belakang daun yang diambil di lokasi tinggi polusi lebih kotor atau ada bercak hitam akibat emisi kendaraan. Dan pada bagian daun yang diambil pada lokasi rendah polusi lebih bersih dibandingkan dengan daun satunya.



Gambar 3. Bagian belakang daun yang diambil dari daerah tidak padat kendaraan
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025)



Gambar 4. Bagian belakang daun yang diambil dari daerah padat kendaraan
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025)

Pada Gambar 3 terlihat belakang daun bersih tidak ada sisa dari emisi gas kendaraan bermotor. Sedangkan pada Gambar 4, terlihat ada sisa dari emisi gas karbon kendaraan bermotor. Karena daun singkong berada dekat dengan jalan raya yang padat kendaraan, memungkinkan debu/karbon bisa menempel dan tampak seperti bintik hitam. Walau mungkin bintik hitam pada belakang daun bisa disebabkan oleh hal lain, tapi tidak menutup kemungkinan bintik hitam tersebut adalah sisa debu/karbon kendaraan bermotor. Apalagi daun singkong berada di dekat jalan raya yang memang padat kendaraan bermotor.

3.3 Kecacatan Pada Daun

Daun yang berada pada lokasi di jalan yang padat kendaraan terlihat ada kecacatan pada daunnya. Sedangkan daun yang diambil di daerah yang tidak padat kendaraan tidak ada kecacatan pada daunnya. Kecacatan pada daun singkong merupakan indikator awal adanya gangguan fisiologis atau pengaruh lingkungan yang merugikan terhadap tanaman. Bentuk kecacatan ini dapat berupa perubahan warna (klorosis), munculnya bercak kuning atau cokelat, tepi daun yang mengering, deformasi bentuk, hingga nekrosis. Salah satu penyebab umum kecacatan adalah paparan polutan udara, seperti gas buang kendaraan bermotor yang mengandung karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), dan partikel logam berat (seperti Pb, Cd, dan Cu). Zat-zat tersebut dapat merusak jaringan daun, menghambat proses fotosintesis, serta memicu stres oksidatif pada tanaman (Okereke *et al.*, 2020; Yana *et al.*, 2025).

Selain itu, kecacatan juga dapat dipengaruhi oleh kondisi tanah yang tercemar, serangan hama dan penyakit, atau defisiensi nutrisi, seperti kekurangan nitrogen, magnesium, atau zat besi yang penting bagi pembentukan klorofil. Daun yang cacat tidak hanya berdampak pada penurunan kualitas dan nilai konsumsi daun singkong, tetapi juga dapat menurunkan produktivitas tanaman secara keseluruhan. Oleh karena itu, identifikasi kecacatan daun singkong penting dilakukan untuk mendeteksi dini gangguan lingkungan maupun kebutuhan pemupukan yang tepat.



Gambar 5. Daun yang diambil dari daerah yang tidak padat kendaraan
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025)

Dapat dilihat pada Gambar 5, daun yang diambil dari daerah yang tidak padat kendaraan tidak memiliki kecacatan pada daunnya. Sedangkan pada Gambar 6 ada kecacatan pada daunnya. Kecacatan pada daun singkong terjadi karena sering terpapar emisi gas kendaraan bermotor. Gas buangan kendaraan dapat merusak struktur dan fungsi daun. Gas buangan kendaraan mengandung zat kimia berbahaya, seperti Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioxida (NO_x), dan Hidrokarbon (HC) yang dapat mengganggu proses fotosintesis, merusak jaringan, dan hal ini menyebabkan perubahan anatomi daun. Secara fisiologi daun melakukan proses fotosintesis untuk dapat menghasilkan makanan berupa glukosa bagi dirinya sendiri sebagai sumber energi untuk tumbuh dan berkembang. Proses ini juga menghasilkan oksigen sebagai hasil sampingan yang penting bagi pernafasan makhluk hidup secara vital.



Gambar 6. Daun yang diambil dari daerah yang tidak padat kendaraan
(Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2025)

4. PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada karakteristik daun tanaman singkong yang tumbuh di lokasi tinggi polusi dan rendah polusi. Daun dari lingkungan dengan polusi kendaraan yang tinggi cenderung memiliki Warna daun memiliki bercak kuning lebih banyak dibandingkan daun di lokasi rendah polusi, lalu tekstur daun lebih kasar dan bertekstur, bagian belakang daun lebih kotor atau memiliki bintik hitam, dan daun yang sering terpapar emisi gas kendaraan bermotor memiliki kecacatan di daunnya.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perbandingan karakteristik daun singkong di daerah rawan kemacetan dengan daerah tidak rawan kemacetan, disarankan agar Pemerintah dan pihak terkait memperhatikan dampak polusi udara akibat kemacetan terhadap tanaman singkong dan tanaman lainnya, serta melakukan upaya mitigasi seperti penghijauan di sepanjang jalan rawan kemacetan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini, terutama kepada dosen Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar yang telah memberikan arahan dan bimbingan yang sangat berharga, serta kepada masyarakat di daerah rawan kemacetan dan tidak rawan kemacetan yang telah bersedia membantu dalam pengumpulan data. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga dan teman-teman yang selalu memberikan dukungan moral dan motivasi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajiwe, V. I. E., Chukwujindu, K. C., & Chukwujindu, C. N. (2018). Heavy Metals Concentration in Cassava Tubers and Leaves from a Galena Mining Area in Ishiagu, Ebonyi State, Nigeria. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 11(3), 54–58.
- Amarullah, Didik Indradewa, & Yudono, B. H. S. (2016). Correlation of Growth Parameters with Yield of Two Cassava Varieties. *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)*, 1(3), 100-104. <https://doi.org/10.22146/ipas.10706>
- Aminah, S., & Supriyadi, A. (2020). Pengaruh Polusi Udara Terhadap Pertumbuhan Tanaman: Studi Kasus Daun Singkong di Daerah Perkotaan. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*, 15(2), 123–130.
- Anuforo, H. U., Akujobi, C. O., Ezeji, E. U., & Okehi, C. C. (2019). Impact of Vehicular Traffic on Concentrations of Selected Heavy Metals in Cassava Tubers Harvested from Roadside in Owerri, Nigeria. *Food and Environment Safety*, 18(4), 272–278. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/675ac0bd0ce2cede71d038bd>
- Bello Oluwasesan M., Hamisu A., Talata M., Ahamefula A., & Adewusi S. G. (2025). Cassava leaves: Unlocking the pharmacological treasures of a forgotten superfood. *Records of Chemical Sciences*, 4(2), 14-33. <https://doi.org/10.33003/frscs-2025-0402/02>
- Budi, S. (2018). Karakteristik Tanaman Singkong dan Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Pertumbuhannya. *Jurnal Agronomi*, 10(1), 45–52.

- Dewi, R. A., & Hidayati, N. (2019). Analisis kualitas daun singkong di berbagai lokasi: Dampak lingkungan dan pertumbuhan. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 12(3), 201–210.
- Harrison, U. E., Osu, S. R., & Ekanem, J. O. (2019). Heavy metals accumulation in leaves and tubers of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) grown in crude-oil contaminated soil at Ikot Ada Udo, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 22(6).
- Katono, K., Macfadyen, S., Omongo, C. A., Odong, T. L., Colvin, J., Karungi, J., & Otim, M. H. (2021). Influence of cassava morphological traits and environmental conditions on field populations of *Bemisia tabaci*. *Insects*, 12(7), 604. <https://doi.org/10.3390/insects12070604>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2021). Panduan budidaya singkong yang efisien dan berkelanjutan. Kementerian Pertanian.
- Kusminingrum, N. (2025). Pengaruh stomata daun tanaman terhadap besarnya reduksi polusi udara. *Jurnal Jalan Jembatan*. Retrieved October 22, 2025, from <https://binamarga.pu.go.id/jurnal/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/772>
- Maryana, Suwardi. (2020). Growth and yield of cassava leaves to the dose of manure and the position of planting stem cuttings. *Journal TECHNO*, 8(2). <https://doi.org/10.31315/journal%20techno.v8i2.8267>
- Meanwhile, a review article: Travaglini et al. (2023). Macro-Morphological Traits of Leaves for Urban Tree Selection for Air Pollution Biomonitoring: A Review. *Biosensors*, 12(10), 812. <https://doi.org/10.3390/bios12100812>
- Mulyani, E., & Rahman, A. (2021). Studi Perbandingan Kualitas Daun Singkong di Daerah Rawan Kemacetan dan Tidak Rawan Kemacetan. *Jurnal Sains Pertanian*, 14(4), 300–310.
- Nwineewii, J. D. (2020). Heavy metal concentrations in cassava leaves and tubers harvested from some communities in Gokana, Rivers State, Nigeria. *British Journal of Chemistry*, 7(5), 167–172.
- Okereke, J. N., Nduka, J. N., Adanma, U. A., & Ogidi, O. I. (2020). Heavy metals in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) harvested from farmlands along highways in Owerri, Nigeria. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(4), 800–806. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i4.800-806.2737>
- Omeje, K. O., Ezema, B. O., & Eze, S. O. (2024). Evaluation of pesticide residues and heavy metals in common food tubers from Nigeria. *South African Journal of Science*, 120(3/4). <https://doi.org/10.17159/sajs.2024/15969>
- Shasabilah, T., & Retha. (2022). Karakteristik fisik, kimia, dan stabilitas termal serbuk pewarna alami daun singkong (*Manihot esculenta* Crantz) dengan variasi Tween 80 dan jenis basa. Repository Universitas Jember. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/114191>
- Shrivastava, R., & Mishra, A. (2018). Air pollution induced changes in foliar micro-morphology of roadside shrub species, *Thevetia peruviana* and *Plumeria alba* in Rewa City, MP, India. *International Research Journal of Environmental Sciences*, 7(3), 1–7.
- Sinaga, I. L., Suwanto, S., Purnamawati, H., & Guntoro, D. (2024). Growth and production of cassavas in intercropping system with cowpeas. *Journal of Tropical Crop Science*, 11(02), 128–136.
- Sutomo, A. (2019). Pengaruh polusi udara terhadap daun tanaman jalanan di Kota Surabaya. *Jurnal Lingkungan Tropis*, 4(2), 121–130.

- Tamtomi, D. A. D., Suhartatik, N., & Mustofa, A. (2018). Karakteristik kimia, fisik, dan organoleptik tempe dari daun singkong (*Manihot esculenta*). *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Industri Pangan UNISRI (JITIPARI)*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.33061/jitipari.v3i1.1984>
- Uka, N., & Belford, E. J. D. (2018). Response of roadside tree leaves in a tropical city to automobile pollution. *Notulae Scientia Biologicae*, 10(2), 207–215.
- Wiyono. (2025). Potensi daun singkong (*Manihot esculenta* Crantz) sebagai pewarna alami. *Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian*. Retrieved October 22, 2025, from <https://jurnal.unpad.ac.id/teknotan/article/view/44304>
- World Health Organization. (2021). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241511353>
- Yana, D. P., Adhi Suastuti, N. G. A. M. D., & Santi, S. R. (2025). Kandungan logam Pb dan Cu dalam daun singkong (*Manihot utilissima* Pohl.) serta bioavailabilitas logam tersebut dalam tanah di Desa Gunung Salak, Tabanan. *Jurnal Kimia*, 19(1), 65–71. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2025.v19.i01.p08>