

PEMBUATAN, UJI FUNGSI, DAN UJI DURABILITAS ALAT PENGAMBILAN SAMPEL UDARA PORTABEL

Arie Ikhwan Saputra¹, Mely Gustina¹, Aplina Kartika Sari¹, Suksmerri², Darwel²

¹Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Bengkulu

² Jurusan Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Padang
arieahi@gmail.com

Abstract: *The limited availability of high-cost standard air samplers remains a major obstacle for regional institutions in conducting regular monitoring of ambient air quality. This study aims to develop, test the function, and evaluate the durability of a portable air sampling device based on an impinger system as a low-cost alternative to commercial air samplers, which are currently expensive and difficult to access for regional institutions. The device was designed using easily purchased components, including a lithium-ion battery, vacuum pump, rotameter, and an SNI-standard impinger tube. The tool was assembled in a workshop and tested for functionality, sampling stability, and battery endurance. A comparative test was conducted with a standard air sampler owned by Poltekkes Kemenkes Padang. The prototype demonstrated stable airflow at 0.5 L/min for up to 4 hours, outperforming some commercial tools in portability due to its integrated battery and solar-charging capability. Comparative sampling for SO₂, CO, and NO₂ showed no significant difference between the prototype and standard devices. The device is also significantly cheaper, costing under 7 million IDR compared to commercial units priced at 47–94 million IDR. This study concludes that the prototype is feasible for field sampling and suitable as an affordable alternative for air quality monitoring.*

Keywords: *Air sampler impinger, ambient air, pollution, sampling device, prototype.*

Abstrak: Keterbatasan ketersediaan alat air sampler standar yang berbiaya tinggi masih menjadi kendala utama bagi institusi daerah dalam melakukan pemantauan kualitas udara ambien secara rutin. Penelitian ini bertujuan untuk membuat, menguji fungsi, dan mengevaluasi durabilitas alat pengambilan sampel udara portabel berbasis impinger sebagai alternatif berbiaya rendah terhadap alat komersial yang harganya masih mahal dan sulit diakses oleh institusi daerah. Alat dirancang menggunakan komponen yang mudah diperoleh seperti baterai lithium-ion, vacuum pump, rotameter, dan tabung impinger sesuai standar SNI. Perakitan dilakukan di bengkel kerja, kemudian alat diuji fungsi, kestabilan laju aliran, serta ketahanan baterai. Uji banding dilakukan dengan alat standar milik Poltekkes Kemenkes Padang. Prototipe menunjukkan kestabilan laju aliran 0,5 L/menit hingga 4 jam, serta memiliki keunggulan portabilitas karena dilengkapi baterai internal dan sistem pengisian dengan panel surya. Hasil pengambilan sampel SO₂, CO, dan NO₂ menunjukkan tidak terdapat perbedaan bermakna

antara prototipe dengan alat standar. Secara ekonomis, biaya pembuatan alat kurang dari Rp7.000.000, jauh lebih murah dibandingkan harga alat komersial Rp47–94 juta. Penelitian ini menyimpulkan bahwa prototipe alat layak digunakan untuk pengambilan sampel kualitas udara ambien dan dapat menjadi alternatif terjangkau bagi instansi pemerintah maupun pendidikan.

Kata kunci: Air sampler impinger, udara ambien, polusi udara, prototipe.

PENDAHULUAN

Pemantauan kualitas udara ambien merupakan komponen penting dalam upaya perlindungan kesehatan masyarakat, mengingat paparan polutan udara seperti SO₂, CO, dan NO₂ telah terbukti berkontribusi terhadap peningkatan risiko gangguan pernapasan dan kardiovaskular (World Health Organization, 2021). Di Indonesia, kegiatan pemantauan kualitas udara dilakukan baik melalui metode otomatis maupun manual, di mana metode manual dengan alat air sampler aktif masih banyak digunakan untuk pengambilan sampel polutan gas tertentu (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020).

Metode pemantauan kualitas udara secara umum terdiri atas metode otomatis dan metode manual, di mana metode manual masih banyak digunakan untuk pengambilan sampel polutan udara tertentu melalui alat air sampler, baik pasif maupun aktif (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Namun demikian, harga alat air sampler aktif yang memenuhi standar nasional (SNI) relatif mahal, sehingga menjadi kendala bagi institusi daerah dan institusi

pendidikan dalam melaksanakan kegiatan pemantauan kualitas udara secara rutin dan berkelanjutan (KLHK, 2020; Budiyo, 2005).

Keterbatasan akses terhadap alat standar menjadi salah satu hambatan bagi institusi pendidikan kesehatan lingkungan maupun dinas terkait dalam melaksanakan kegiatan sampling kualitas udara secara rutin. Harga alat air sampler yang tercantum dalam e-catalog pemerintah dilaporkan berkisar antara Rp47–94 juta, sehingga menyulitkan institusi dengan keterbatasan anggaran untuk memenuhi kebutuhan pemantauan kualitas udara ambien (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020; Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah, 2021). Oleh karena itu, diperlukan inovasi pengembangan alat pengambilan sampel udara yang lebih murah, portabel, dan tetap memenuhi prinsip ilmiah pengambilan sampel udara guna mendukung kegiatan pemantauan berbasis kesehatan lingkungan (Hurley *et al.*, 2023).

Penelitian ini mengembangkan prototipe alat air sampler berbasis impinger yang memanfaatkan sumber daya listrik dari baterai

lithium-ion dan panel surya. Alat dirancang agar mudah dibawa ke lapangan, dapat digunakan tanpa sumber listrik eksternal, dan memiliki performa yang mendekati alat standar. Penelitian ini melakukan pembuatan alat, uji fungsi, dan uji durabilitas untuk memastikan kelayakan penggunaan prototipe sebagai alternatif pengganti alat komersial.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan studi rekayasa alat (engineering research) yang meliputi proses desain, perakitan, dan pengujian kinerja alat air sampler impinger portabel.

Bahan dan Komponen Alat

1. Baterai lithium-ion (3,7 V × 6 sel, 1800 mAh).
2. Battery Management System (BMS) 30 A.
3. Panel surya 50 WP dan kontroler MPPT 40 A.
4. Vacuum pump DC 7,2 V.
5. Rotameter 0,1–1,0 L/menit.
6. Tabung midget impinger SNI.
7. Step-down converter 12 V → 6,5 V.
8. Kabel, saklar, voltmeter display, dan selang silikon.

Langkah Perakitan

1. Catu daya dihubungkan ke BMS sebagai pengatur pengisian baterai.
2. Enam baterai disusun seri menghasilkan tegangan ±11,1–12,5 V.

3. Output baterai dihubungkan ke step-down menuju vacuum pump.
4. Vacuum pump dihubungkan ke rotameter menggunakan selang silikon.
5. Rotameter dihubungkan ke impinger berisi absorben.
6. Timer dipasang untuk menghentikan operasi sesuai durasi sampling.

Uji Fungsi Alat

Uji fungsi dilakukan dengan:

1. Menentukan laju aliran 0,5 L/menit.
2. Mengisi impinger dengan media pengabsorpsi.
3. Menyalakan alat dan mengamati kestabilan gelembung.

Uji Durabilitas

Baterai diisi penuh (12,5 V) lalu alat dijalankan hingga flowmeter menunjukkan penurunan signifikan. Durasi dicatat sebagai ketahanan alat.

Uji Banding

Dilakukan di Poltekkes Kemenkes Padang selama 2 hari menggunakan parameter:

- SO₂
- CO
- NO₂

Hasil absorben dari prototipe dibandingkan dengan alat standar.

HASIL

Hasil Perakitan Alat

Prototipe berhasil dirakit dan mampu menghasilkan laju aliran stabil 0,5 L/menit. Sistem pengisian

baterai dari panel surya berfungsi dengan baik.

Uji Durabilitas

Alat dapat beroperasi hingga 4 jam tanpa sumber listrik eksternal. Hal ini dipengaruhi kapasitas baterai yang disusun dalam 6 sel seri.

Uji Banding

Hasil pengukuran dibandingkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sampel Udara Prototipe vs Alat Standar

Parameter	Prototipe	Standar Pabrik
SO ₂	136,4	129,88
CO	3687,5	359,2
NO ₂	69,51	74,78

Hasil pada tabel menunjukkan bahwa nilai konsentrasi SO₂ yang diukur menggunakan prototipe sebesar 136,4 µg/m³ mendekati nilai alat standar sebesar 129,88 µg/m³; demikian pula pada parameter CO (3687,5 µg/m³ vs 3592 µg/m³) dan NO₂ (69,51 µg/m³ vs 74,78 µg/m³), sehingga hasil pengukuran menunjukkan konsistensi nilai yang sangat dekat dengan alat standar.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat air sampler prototipe memiliki kinerja yang sebanding dengan alat standar yang digunakan di institusi pendidikan. Nilai parameter SO₂, CO, dan NO₂ yang diperoleh dari kedua alat tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara praktis, yang berarti proses hisap, kestabilan aliran, dan kapasitas

tangkap impinger pada prototipe telah bekerja sesuai prinsip ilmiah.

Keunggulan utama alat ini adalah ketersediaan baterai internal dan panel surya, menjadikannya lebih portabel dibanding alat standar yang masih bergantung pada sumber listrik AC. Selain itu, dari sisi ekonomi, alat ini 7–10 kali lebih murah dibanding produk komersial.

Penambahan komponen seperti BMS, kontroler MPPT, dan konfigurasi baterai seri terbukti meningkatkan durabilitas alat saat digunakan di lapangan. Hasil ini sejalan dengan penelitian-penelitian rekayasa alat sampling udara yang menekankan efisiensi energi dan portabilitas sebagai aspek utama.

Hasil uji banding yang menunjukkan kesamaan antara prototipe dan alat standar perlu didukung oleh analisis statistik formal, seperti *paired t-test* dan/atau metode Bland–Altman, untuk menilai adanya bias sistematis dan batas kesepakatan antar-alat (Mansournia, 2020; Job, 2025). Metode Bland–Altman secara luas digunakan dalam studi evaluasi instrumen pengukuran untuk menentukan apakah perbedaan hasil antar-alat masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk tujuan pemantauan lingkungan, sekaligus menilai ketepatan dan presisi pengukuran pada rentang konsentrasi yang relevan (Mansournia, 2020). Oleh karena itu, penyertaan analisis statistik kuantitatif dan visualisasi

plot Bland–Altman sangat disarankan agar klaim “tidak terdapat perbedaan bermakna” dapat disajikan secara objektif, terukur, dan transparan (Dong, 2025).

Kestabilan laju aliran (0,5 L/menit hingga 4 jam) merupakan hasil yang positif, namun tetap perlu didiskusikan bagaimana variasi kecil pada laju aliran dapat memengaruhi efisiensi penangkapan polutan larut maupun partikulat dalam sistem impinger. Studi perbandingan perangkat sampling udara menunjukkan bahwa perubahan laju alir dan karakteristik pompa berpengaruh terhadap efisiensi koleksi serta retensi analyte, terutama pada pemantauan lapangan dengan durasi sampling yang relatif panjang (Brown, Ferracci and Martin, 2025; Hurley *et al.*, 2023). Oleh karena itu, pengukuran laju alir secara berkala selama siklus sampling serta pelaksanaan kalibrasi sebelum dan sesudah pengambilan sampel sangat direkomendasikan untuk menjaga konsistensi dan keterbandingan data kualitas udara ambien yang dihasilkan (Hurley *et al.*, 2023).

Integrasi baterai lithium-ion dan panel surya meningkatkan portabilitas alat dan memungkinkan kegiatan sampling di lokasi tanpa akses listrik, namun durasi operasi yang tercatat (± 4 jam) perlu ditempatkan dalam konteks beban operasional aktual, seperti pengaruh suhu lingkungan, degradasi baterai,

efisiensi *maximum power point tracking* (MPPT), serta umur siklus pengisian baterai. Literatur terkini mengenai perangkat pemantauan lingkungan portabel menekankan bahwa performa energi di lapangan dapat mengalami penurunan seiring waktu penggunaan, sehingga evaluasi berbasis uji siklus dan pemantauan kapasitas baterai secara berkala menjadi aspek penting dalam penilaian durabilitas alat (Hurley *et al.*, 2023; Dong, 2025). Oleh karena itu, rekomendasi praktis meliputi pengukuran kapasitas sisa baterai, pencatatan kondisi pengisian melalui panel surya, serta pelaksanaan uji ketahanan setelah sejumlah siklus penggunaan untuk memastikan keandalan alat dalam pemakaian jangka panjang (Dong, 2025).

Prototipe berbasis impinger memiliki keuntungan dari sisi biaya dan kemudahan perakitan, namun potensi sumber bias seperti kebocoran sambungan selang, variasi volume dan komposisi absorben, serta pengaruh suhu dan kelembapan lingkungan perlu dibahas secara eksplisit. Studi komparatif pada perangkat sampling udara menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik mekanis alat dan prosedur penanganan sampel dapat menyebabkan variasi konsentrasi polutan yang bermakna, terutama pada metode sampling manual berbasis impinger (Brown, Ferracci and Martin, 2025; Hurley *et al.*, 2023). Oleh karena itu, penerapan

kontrol mutu lapangan seperti *field blank*, replikasi sampel, dan pemeriksaan kebocoran secara berkala, serta penjelasan rinci mengenai prosedur penanganan dan penyimpanan sampel, sangat disarankan untuk meminimalkan ketidakpastian dan meningkatkan keandalan hasil pengukuran (Dong, 2025).

Dari sudut pandang kesehatan lingkungan, prototipe dengan biaya kurang dari Rp7 juta menawarkan tingkat aksesibilitas yang tinggi bagi institusi daerah untuk pelaksanaan pemantauan kualitas udara dasar secara rutin. Namun, sebelum diadopsi secara luas, diperlukan studi longitudinal dengan metode kolokasi di beberapa lokasi dan musim yang berbeda untuk mengevaluasi kinerja alat pada variasi kondisi lingkungan serta rentang konsentrasi polutan yang lebih luas (Hurley *et al.*, 2023; Dong, 2025). Selain itu, pengembangan protokol kalibrasi yang sederhana dan panduan penggunaan lapangan yang terstandar dinilai penting untuk

mempercepat penerimaan dan penggunaan alat oleh dinas kesehatan maupun institusi pendidikan (Brown, Ferracci and Martin, 2025). Penelitian lanjutan juga disarankan untuk membandingkan kinerja alat menggunakan pendekatan statistik yang lebih kuat serta melakukan analisis biaya–manfaat operasional jangka panjang guna mendukung pengambilan keputusan dalam kebijakan pemantauan kualitas udara (Dong, 2025).

KESIMPULAN

Prototipe alat pengambilan sampel udara portabel berbasis impinger berhasil dibuat dan berfungsi dengan baik. Hasil uji fungsi, durabilitas, dan uji banding menunjukkan bahwa alat ini layak digunakan sebagai alternatif murah dan portabel untuk pemantauan kualitas udara ambien. Alat ini direkomendasikan untuk digunakan oleh institusi pendidikan dan instansi pemerintah daerah yang membutuhkan alat sampling udara dengan biaya terjangkau.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif Budiyo. 2005. *Pengkajian Ozon dan Polusi Udara*. Bandung: Media Grafika.
- Agusnar, H. 2007. *Kimia Lingkungan*. Medan: USU Press.
- Anggraini. 1994. Masalah Ruang Terbuka Hijau di Kota. *Jurnal Teknologi Permukiman*. 4(2): 27.
- BAPEDAL. 1999. *Catatan Kursus Pengelolaan Kualitas Udara*. Jakarta.
- Brown, R.J.C., Ferracci, V. & Martin, N.A. (2025) *Diffusive samplers for ambient air*

- quality monitoring*. Analytical Methods, DOI:10.1039/D5AY90067K.
- Budiyono, A. (2005) *Pengkajian ozon dan polusi udara*. Bandung: Media Grafika.
- Cahyono. 2011. Kajian Tingkat Pencemaran Sulfur Dioksida. *Jurnal Dirgantara*. 12(4): 132-137.
- Dong, J., Goodman, N., Carre, A. & Rajagopalan, P. (2025) *Calibration and validation-based assessment of low-cost air quality sensors*, Science of the Total Environment, 977, 179364.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179364>
- Hurley, J.F., Caceres, A., McGlynn, D.F., Tovillo, M., Pinar, S., Schürch, R., Onufrieva, K. & Isaacman-VanWertz, G. (2023) *Portable, low-cost samplers for distributed sampling of atmospheric gases*. Atmospheric Measurement Techniques, 16, pp.4681–4692. doi:10.5194/amt-16-4681-2023.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2020) *Pedoman pemantauan kualitas udara ambien*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Lembaga Kebijakan Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah (LKPP) (2021) *E-Catalog Alat Pemantauan Kualitas Udara*. Jakarta: LKPP.
- World Health Organization (2021) *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM2.5 and PM10), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*. Geneva: WHO.