



Identifikasi Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Performa Efisiensi Aliran PM dalam Sistem *Blower* ESP Berbasis IoT

¹Arif Budianto, ²Hanana Fadila Nurul Yaqin, ³Suaibatul Islamiah, ⁴Roviq Wijaya, ⁵Ni Ketut Anggriani, ⁶Kasnawi Al Hadi, ^{7*}Halil Akhyar

^{1,3,4,5,6,7}Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram

²Program Studi Teknik Informatika, FT, Universitas Mataram

Email Korespondensi: halil.akhyar@staff.unram.ac.id

Article Info	Abstract
Article History Received: 18 April 2025 Revised: 28 April 2025 Published: 30 April 2025	One of the air emission mitigation efforts is the development of electrostatic precipitator (ESP)-based filtration. On the other hand, this method requires further identification of the effect of flow rate on the resulting efficiency level. Therefore, this study aims to identify the best flow rate in a low-power, small-scale miniature ESP system based on ESP, with the application of IoT technology in real-time and accurate data monitoring. The study was conducted in a closed chamber using an IoT-based flow rate measurement system (anemometer). The flow rate was varied into two categories, namely inlet and outlet. Measurements were made for 100 s consecutively on both air flow paths. Work efficiency was calculated based on the difference between the inlet and outlet flow rates, which was then compared with the inlet flow rate. Data communication efficiency was analyzed using RSSI parameters based on the IoT system using a 4G internet network. The measurement results showed similarity in data between the inlet and outlet flow rates, with an efficiency level of 87%. RSSI in data communication is above -60 dBm with a strong transmission signal category. These results conclude that flow rate can affect air flow efficiency performance. The quality of an IoT network can be analyzed using the RSSI parameter.
Keywords Air emission; ESP; internet of things; air flow; air	
Informasi Artikel	Abstrak
Sejarah Artikel Diterima: 18 April 2025 Direvisi: 28 April 2025 Dipublikasi: 30 April 2025	Salah satu upaya mitigasi emisi udara adalah pengembangan filtrasi berbasis <i>electrostatic precipitator</i> (ESP). Di sisi lain, metode ini memerlukan identifikasi lanjutan terkait pengaruh laju alir terhadap tingkat efisiensi yang dihasilkan. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi laju alir terbaik dalam sistem miniatur ESP skala kecil berdaya rendah berbasis ESP, dengan penerapan teknologi IoT dalam pemantauan data secara <i>real-time</i> dan akurat. Penelitian dilakukan di dalam <i>chamber</i> tertutup menggunakan sistem pengukuran laju alir berbasis IoT (anemometer). Laju alir divariasi ke dalam dua kategori, yakni <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> . Pengukuran dilakukan dalam waktu 100 s berturut-turut pada kedua jalur aliran udara tersebut. Efisiensi kerja dihitung berdasarkan selisih antara laju alir <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> , yang kemudian dibandingkan dengan laju alir <i>inlet</i> . Efisiensi komunikasi data dianalisis menggunakan parameter RSSI berdasarkan sistem IoT menggunakan jaringan internet 4G. Hasil pengukuran menunjukkan adanya kemiripan data antara laju alir <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> , dengan tingkat efisiensi 87%. RSSI dalam komunikasi data berada di atas -60 dBm dengan kategori signal transmisi yang kuat. Hasil ini menyimpulkan bahwa laju alir dapat mempengaruhi performa efisiensi aliran udara. Kualitas jaringan IoT dapat dianalisis menggunakan parameter RSSI.
Kata kunci Emisi udara; ESP; <i>Internet of Things</i> ; laju alir; udara	
Sitasi: Budianto, A., Yaqin, H.F.N., Islamiah, S., Wijaya, R., Anggriani, N.K., Hadi, K.A., Ahyar, H. (2025). Identifikasi Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Performa Efisiensi Aliran PM dalam Sistem Blower ESP Berbasis IoT. <i>Lambda: Jurnal Pendidikan MIPA dan Aplikasinya</i> , 5(1), 162-168.	

PENDAHULUAN

Udara dapat mengalami pencemaran ketika terdapat sejumlah konsentrasi emisi di dalamnya. Emisi di udara dapat dijumpai dalam bentuk gas dan *particulate matter* (PM) (Vicente et al., 2022). *Air Quality Guidelines* dari *World Health Organization* (WHO) menyatakan emisi dalam bentuk gas dapat berbentuk gas karbon monoksida (CO), gas karbon dioksida (CO₂), gas ozon (O₃), gas nitrogen dioksida (NO₂), gas sulfur dioksida (SO₂), dan senyawa *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) (Budianto, 2024a; Yani et al., 2024; Zhang et al., 2022). Emisi dalam bentuk PM dapat berbeda-beda bergantung pada ukuran distribusi massa dan jumlah partikelnya (Anugerah et al., 2025; Fisher et al., 2020).

Pencemaran udara menjadi salah satu isu lingkungan yang sangat mendesak untuk diatasi di seluruh dunia. Pencemaran ini tidak hanya berdampak pada kualitas udara, tetapi juga menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan bagi manusia (Anugerah et al., 2025). Salah satu polutan yang paling berbahaya adalah dari jenis PM submikron atau partikulat halus dengan ukuran kurang dari 2,5 mikrometer (PM_{2.5}). Partikel-partikel ini sangat kecil sehingga mudah terhirup dan masuk ke saluran pernapasan manusia dan mencapai bagian terdalam dari paru-paru, yaitu alveoli. PM_{2.5} bahkan dapat masuk ke dalam aliran darah, yang meningkatkan risiko gangguan kesehatan serius seperti penyakit kardiovaskular, gangguan pernapasan kronis, dan kanker paru-paru (Budianto et al., 2024b; Hadi et al., 2022).

Sumber utama dari emisi PM_{2.5} berasal dari berbagai aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), proses industri, serta emisi kendaraan bermotor. Seiring dengan pesatnya urbanisasi dan perkembangan industri, jumlah kendaraan bermotor yang meningkat, serta ketergantungan pada energi fosil, menyebabkan jumlah polusi udara yang mengandung konsentrasi PM_{2.5} semakin tinggi. Berdasarkan data dari Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), pencemaran udara menyebabkan lebih dari 4 juta kematian setiap tahun, di mana PM_{2.5} menjadi salah satu penyebab utama kematian prematur.

Dampak pencemaran udara tidak hanya terbatas pada kesehatan manusia, tetapi juga merusak ekosistem dan kualitas lingkungan. PM_{2.5} dapat menyebabkan penurunan kualitas udara yang berdampak pada kesehatan tanaman dan hewan serta memperburuk fenomena pemanasan global. Oleh karena itu, pengendalian emisi PM_{2.5} menjadi salah satu prioritas utama dalam mitigasi bencana emisi udara.

Untuk mengatasi masalah pencemaran udara ini, berbagai teknologi telah dikembangkan untuk mengurangi emisi PM_{2.5}, seperti menggunakan metode listrik magnet *Electrostatic Precipitator* (ESP). ESP adalah sebuah piranti yang mengaplikasikan medan listrik untuk memisahkan partikel dari aliran gas buang. Teknologi ini telah terbukti efektif dalam menangkap partikel halus, termasuk PM_{2.5} dengan efisiensi yang tinggi (Gao et al., 2020; Järvinen et al., 2023). Dalam prinsip kerjanya, ESP memberikan muatan listrik pada partikel dalam gas buang yang kemudian tertarik pada pelat pengumpul yang bermuatan berlawanan. Proses ini memungkinkan pemisahan partikel dari gas dan menghasilkan udara yang lebih bersih dan aman bagi kesehatan akibat adanya medan listrik yang mengakibatkan gaya tarik-menarik (Anggraini et al., 2023).

Sejalan dengan latar belakang tersebut di atas, diperlukan sebuah sistem filtrasi udara berbasis ESP yang memiliki desain ergonomis namun tetap memiliki efisiensi yang baik. Penambahan teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat membantu teknik pengontrolan cerdas atau pemantauan nirkabel yang dapat memiliki tingkat kebaruan. Di sisi lain, sistem ESP memiliki ketergantungan akan laju alir udara, yang secara langsung dapat mempengaruhi kinerja atau performansi dari sistem tersebut. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi laju alir terbaik dalam sistem miniatur ESP skala kecil berdaya rendah

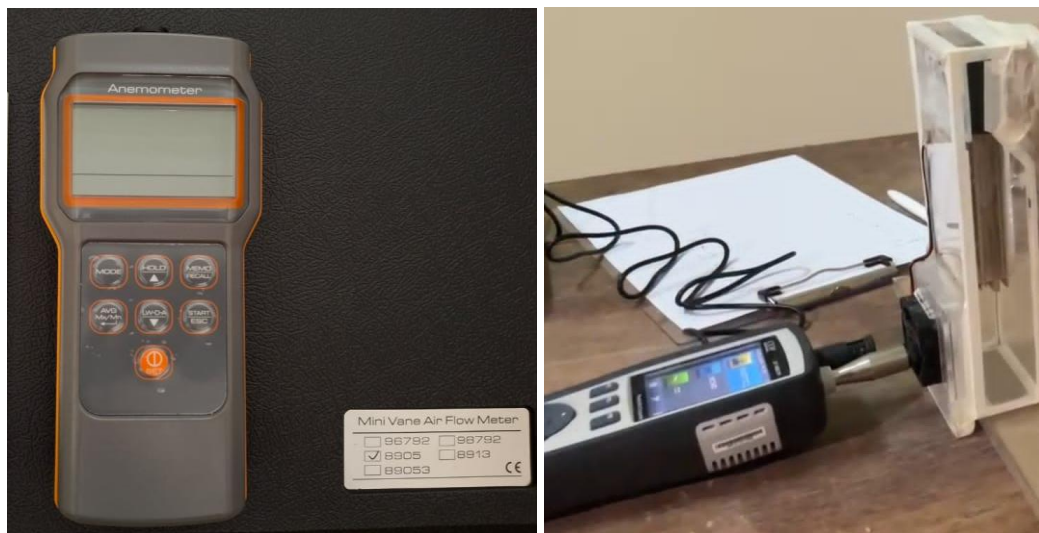
berbasis ESP, dengan penerapan teknologi IoT dalam pemantauan data secara *real-time* dan akurat.

METODE

Penelitian dilakukan di dalam *chamber* tertutup dalam skala laboratorium. Lokasi pengujian adalah Laboratorium Instrumentasi dan Biofisika FMIPA Universitas Mataram. Kondisi laju alir direkayasa ke dalam dua jenis, yakni laju alir *inlet* (lubang *input*) dan laju alir *outlet* (lubang *output*) (**Tabel 1, Gambar 1**). Sistem pengukuran laju alir (v) menggunakan sebuah anemometer yang terhubung ke dalam jaringan internet 4G dan Kit Air Quality Meter (AQI). Parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dicatat untuk mengukur kualitas penerimaan sinyal komunikasi (transmisi) data dari *transmitter* menuju *receiver*.

Tabel 1. Variasi pengukuran laju alir

Kondisi	Deskripsi	Piranti Pengukur
Kondisi 0	Kontrol	Anemometer berbasis IoT
Kondisi 1	<i>Inlet</i>	
Kondisi 2	<i>Outlet</i>	



Gambar 1. Sistem pengukuran laju alir dan ESP berbasis IoT

Data yang telah dicatat kemudian di-plot menggunakan Ms. Excel menjadi kurva dan dianalisis rata-rata, standar deviasi, dan linearitasnya menggunakan persamaan:

$$y = ax + b \quad (1)$$

Sumbu y menyatakan laju alir (dalam m/s), sedangkan sumbu x mewakili waktu sampling (dalam s). Adapun performa ESP dihitung menggunakan persamaan:

$$EF = \frac{\Delta v}{v_0} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kecepatan aliran fluida dalam sistem (Tabel 2) menunjukkan 100 pola perubahan besar selama proses pengumpulan data pada interval waktu 5 detik. Pada tahap awal (pengukuran 1 hingga 30), kecepatan aliran udara di *inlet* cenderung stabil dalam kisaran 2,8 hingga 3,1 m/s. Di sisi *outlet*, secara bertahap menurun sebesar 3,0 m/s menjadi sekitar 2,2 m/s.

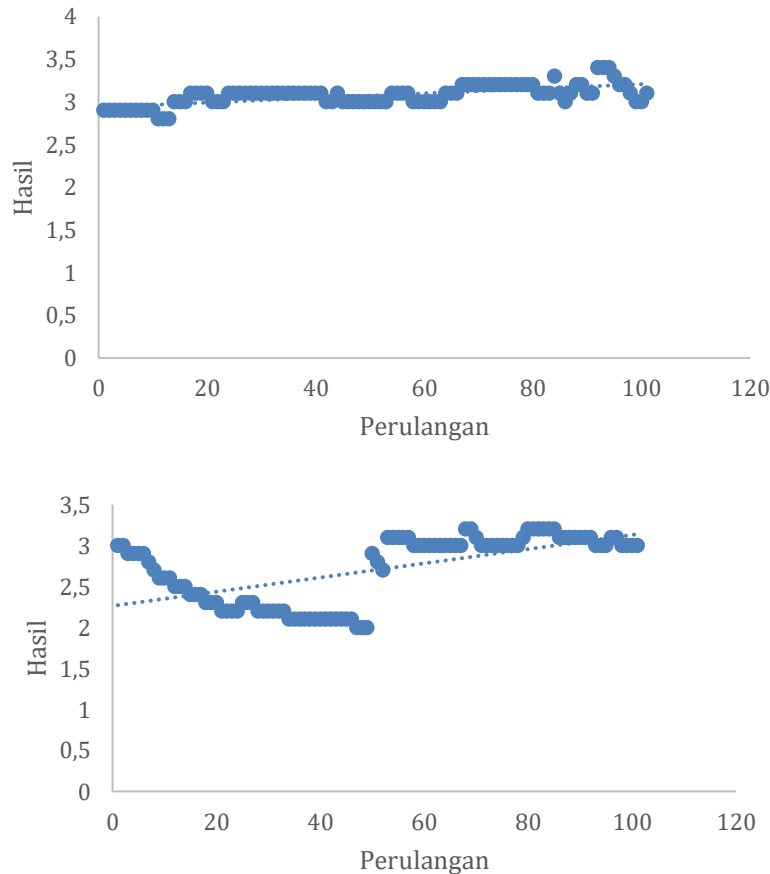
Keadaan ini menunjukkan tahap awal (*cold start*) dalam sistem. Ini mungkin disebabkan oleh fluktuasi tegangan dalam kipas atau *blower* yang mengakibatkan penurunan daya. Penyebab lainnya adalah fraksi dalam sisi yang mengakibatkan laju alir melambat pada posisi *cold start*. kegagalan internal blower, struktur partikel debu, atau distribusi udara yang tidak seimbang. Selain itu, sistem ini menunjukkan stabilitas performa pada periode sampling tengah (diukur 31-60). Kecepatan *inlet* mengalami stagnasi sekitar 3,0-3,1 m/s, dan kecepatan *outlet* perlahan meningkat 3,1 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa *blower* mulai panas (*hot start*) dan beroperasi dengan efisiensi yang lebih baik dan distribusi udara di dalam ruangan mulai dimulai secara merata.

Pada fase akhir (pengukuran ke-61 hingga ke-100), baik kecepatan *inlet* maupun *outlet* mengalami peningkatan dan mendekati nilai yang seimbang. Kecepatan *inlet* berada pada rentang 3,2-3,4 m/s, sedangkan output berada pada kisaran 3-3,2 m/s. Kesetaraan nilai ini menunjukkan bahwa *blower* telah mencapai performa kerja optimal, dengan efisiensi aliran udara yang tinggi dalam *chamber* (87%). Perbandingan antara *inlet* dan *outlet* yang semakin kecil menandakan kehilangan energi yang minim dan kinerja sistem yang efisien. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem *blower* yang digunakan dalam miniatur model ESP ini dapat memberikan sirkulasi udara yang baik dan stabil pada skala ruangan, serta memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai solusi teknologi purifikasi udara yang efisien dan ramah lingkungan.

Tabel 2. Data pengukuran laju alir dalam sistem ESP

Waktu (s)	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>
10	2,9	2,6
20	3,1	2,3
30	3,1	2,2
40	3,1	2,1
50	3	2,9
60	3	3
70	3,2	3,1
80	3,2	3,2
90	3,1	3,1
100	3	3
Rata-rata	3,1	2,7

Data pada tabel di atas kemudian diolah menjadi grafik pada Gambar 2. Grafik pertama menunjukkan hubungan antara jumlah perulangan dengan nilai hasil yang diperoleh dalam suatu proses. Secara umum, grafik ini memperlihatkan adanya tren peningkatan nilai hasil seiring bertambahnya jumlah perulangan. Pada tahap awal, nilai hasil cenderung fluktuatif namun menunjukkan pola kenaikan yang konsisten.



Gambar 2. Grafik pengukuran laju alir dalam *inlet* dan *outlet* sistem ESP

Tabel 3 berikut menginterpretasikan hasil pengukuran parameter RSSI (rata-rata) pada setiap variasi alir udara.

Tabel 3. Data pengukuran parameter kekuatan signal dalam RSSI (satuan dBm)

Waktu (s)	Inlet	Outlet
10	-56	-57
20	-56	-57
30	-59	-57
40	-59	-56
50	-59	-56
60	-57	-56
70	-59	-56
80	-59	-56
90	-58	-58
100	-58	-54

Data pada tabel tersebut menunjukkan bahwa sistem IoT yang digunakan dalam pemantauan laju alir udara secara *real-time* memiliki parameter RSSI yang relatif baik. Kualitas sinyal transmisi yang terukur berada di atas -60dBm. Mengacu pada parameter komunikasi data dan interface mikrokontroller ESP8266 yang digunakan, nilai ini tergolong memiliki kualitas sinyal yang sangat kuat. Dengan demikian, sistem miniatur model ESP dengan *blower* internal yang digunakan memiliki efisiensi yang baik (87%), dengan fitur pemantauan IoT yang baik yang ditunjukkan oleh kualitas penerimaan signal >95% dan RSSI sebesar >60 dBm.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa efisiensi kerja sistem ESP dapat dihitung berdasarkan selisih antara laju alir *inlet* dan *outlet*, yang kemudian dibandingkan dengan laju alir *inlet*. Hasil pengukuran menunjukkan adanya kemiripan data antara laju alir *inlet* dan *outlet*, dengan tingkat efisiensi sebesar 87%. RSSI dalam komunikasi data berada di atas -60 dBm dengan kategori signal transmisi yang kuat. Dengan kata lain, laju alir dapat mempengaruhi performa efisiensi aliran udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, I. N., Amrina, E., Herawati, A., Andromeda, R. R., & Rodiah, Y. (2023). Pengujian filter partikulat asap rokok electrostatic precipitator dengan elektroda tembaga dan aluminium. *Jurnal Amplifier : Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 13(2), 84–90. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v13i2.28056>
- Anugerah, R., Sutabri, T., Yani, A. N. J., Ulu, S. K., Palembang, K., & Selatan, S. (2025). Perancangan sistem monitoring kualitas udara menggunakan IoT dengan metode prototype. *Jurnal Informatika Dan Sains Teknologi*. <https://doi.org/10.62951/modem.v3i1.304>
- Budianto, A., Hadi, K. Al, Apriza, N. M., & Wijaya, R. (2024). Identifikasi konsentrasi emisi fine particle di ruangan tertutup dengan sistem pendingin udara otomatis. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 5(4), 808–813. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v5i4.509>
- Budianto, A., Juniarti, R., Wirawan, R., & Rahayu, S. (2024). Pengukuran konsentrasi coarse particle di ruangan dengan sistem kontrol temperatur udara. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 10(2), 169–177. <https://doi.org/10.29303/jstl.v10i2.595>
- Fisher, D., Wooster, M. J., Xu, W., Thomas, G., & Lestari, P. (2020). Top-down estimation of particulate matter emissions from extreme tropical peatland fires using geostationary satellite fire radiative power observations. *Sensors (Switzerland)*, 20(24), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s20247075>
- Gao, W., Wang, Y., Zhang, H., Guo, B., Zheng, C., Guo, J., Gao, X., & Yu, A. (2020). Numerical simulation of particle migration in electrostatic precipitator with different electrode configurations. *Powder Technology*, 361, 238–247. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.08.046>
- Hadi, K.A., Wardoyo, A.Y.P., Juswono, U.P., Naba, A., Budianto, A., & Adi, E.T.P. (2022). A study of erythrocyte deformation level related to biomass burning emission exposures using artificial neural networks. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(6), 5037–5046. <https://doi.org/10.15244/pjoes/150643>
- Järvinen, A., Lehtoranta, K., Aakko-Saksa, P., Karppanen, M., Murtonen, T., Martikainen, J., Kuusisto, J., Nyysönen, S., Koponen, P., Piimäkorpi, P., Friman, E., Orasuo, V., Rintanen, J., Jokiluoma, J., Kuittinen, N., & Rönkkö, T. (2023). Performance of a wet electrostatic precipitator in marine applications. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/jmse11020393>
- Yani, A., Wardoyo, A.Y.P., Anggraeni, D., & Budianto, A. (2024). Development of a measurement system of ethanol gas based on TGS-2600, TGS2603, and MQ-138 sensor. *AIP Conf. Proceedings*, 3132(1). <https://doi.org/10.1063/5.0211681>

- Zhang, Y., Guo, E., Hu, H., Wang, H., & Liu, X. (2022). Experimental study on PM_{2.5} purification characteristics of different filter units in enclosed environments. *Aerosol and Air Quality Research*, 22(11). <https://doi.org/10.4209/aaqr.220184>
- Vicente, E., Duarte, A., Tarelho, L., & Alves, A. (2022). Efficiency of emission reduction technologies for residential biomass combustion appliances: electrostatic precipitator and catalyst. *Energies*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/en15114066>