

## Desain sistem pemantauan kualitas udara jangka panjang berbasis *Internet of Things*

Andreas Setiawan<sup>1\*</sup>, Sigit Sulistiyanto<sup>1</sup>, Cucun Alep Riyanto<sup>2</sup>, Gede Arya Wiguna<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana,  
Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga, Jawa Tengah 50711

<sup>2</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana,  
Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga, Jawa Tengah 50711

<sup>3</sup>Program studi Biologi, Fakultas Sains Biologi, Universitas Timor  
Jl Eltari km. 9 Sasi, Kecamatan Kota Kefamenanu, Timor Tengah Utara (TTU), Nusa Tenggara Timur

\*email: andreas.setiawan@uksw.edu

**Abstrak** - Polusi udara adalah ancaman lingkungan terbesar bagi kesehatan masyarakat global dan menyumbang jutaan kematian dini setiap tahunnya. Dalam setiap tarikan napas, manusia dapat menghirup sejumlah partikel kecil yang dapat merusak paru-paru, jantung, dan otak yang menyebabkan masalah kesehatan. Meskipun polusi udara merupakan masalah global, polusi udara tidak secara proporsional mempengaruhi seluruh dunia. Masyarakat yang tinggal di negara-negara berkembang memiliki dampak yang lebih besar karena pengelolaan lingkungan yang buruk. Metode pengelolaan limbah, polusi transportasi, pembakaran dan manajemen sampah yang tidak optimal menyebabkan terlepasnya sejumlah polutan ke lingkungan dan udara. Hal ini sering tidak disadari karena perubahan terjadi secara bertahap dalam jangka panjang. Terbatasnya sistem pemantauan udara yang terjangkau dan dapat beroperasi dalam jangka panjang, menyebabkan kurangnya antisipasi untuk masalah ini. Berpijak pada urgensi ini, dalam artikel ini disampaikan pengembangan dan ujicoba sistem pengukuran kualitas udara berbasis sensor ENS160 dan WEMOS D1 yang terintegrasi dengan platform *Internet of Things*. Pada bagian akhir dilaporkan uji coba sistem yang telah dioperasikan selama 4,5 bulan secara terus menerus. Sistem berhasil menyimpan 200.000 data yang merupakan akumulasi pengukuran setiap 1 menit, dengan kesalahan pengukuran kurang dari 1%. Hal ini memperlihatkan keberhasilan sistem sebagai sebuah sistem pengukuran kualitas udara yang handal dan terjangkau untuk jangka panjang. Dengan ditemukannya formulasi sistem pengukuran yang tepat diharapkan membantu pengelolaan dan peningkatan kesehatan lingkungan terutama terhadap pengaruh polusi udara di Indonesia.

**Kata Kunci:** polusi udara, sensor gas, *internet of things*, manajemen polusi udara

**Abstract** – Air pollution is the biggest environmental threat to global public health and accounts for an estimated million premature deaths each year. With each breath, humans can inhale a number of tiny particles that can damage the lungs, heart and brain and cause a multitude of health problems. While air pollution is a global problem, it does not proportionally affect the entire world. People living in developing countries have a greater impact due to poor environmental management. Suboptimal methods of waste management, transportation pollution, incineration and waste management lead to the release of a number of pollutants into the environment and air. This is often unnoticed as changes occur gradually over the long term. There is a lack of affordable and long-term operational air monitoring systems, leading to a lack of technological support to address this. Based on this urgency, this paper develops an air quality measurement system based on ENS160 and WEMOS D1 sensors integrated with the *Internet of Things* platform. At the end, a trial of the system that has been operated for approximately 4.5 months continuously is reported. The system successfully stores 200,000 data which is the accumulation of measurements every 1 minute. Furthermore, the error analysis of the measurement system is also shown, which is less than 1%. This shows the success of the system as a reliable and affordable air quality measurement system for the long term. With the discovery of the right measurement system formulation, it is expected to help manage and improve environmental health, especially against the effects of air pollution in Indonesia.

**Key words:** air pollution, gas sensors, *internet of things*, air pollution management

## PENDAHULUAN

Polusi udara adalah ancaman lingkungan terbesar bagi kesehatan masyarakat secara global dan menyumbang sekitar 7 juta kematian

dini setiap tahunnya [1-2]. Polusi udara dan perubahan iklim sangat erat kaitannya karena semua polutan utama berdampak pada iklim dan sebagian besar memiliki sumber yang sama dengan gas rumah kaca. Pengelolaan kualitas

udara akan membawa manfaat bagi kesehatan manusia dan kualitas lingkungan. Partikel yang berbahaya dapat mencakup jelaga, debu tanah, hingga sulfat, berupa partikel halus yang berdiameter kurang dari 2,5 mikron atau sering disingkat PM2.5 [3-5].

Paparan PM2.5 mengurangi rata-rata harapan hidup global sekitar satu tahun pada tahun 2019 [6-7]. Penyakit paling mematikan yang terkait dengan polusi udara PM2.5 adalah stroke, penyakit jantung, penyakit paru-paru, penyakit pernapasan bagian bawah (seperti pneumonia), dan kanker [8-9]. Tingginya tingkat partikel halus juga berkontribusi pada penyakit lain, seperti diabetes pada dewasa dan gangguan kognitif pada anak-anak [10-12]. Sebagai contoh, polusi udara terkait dengan 20% kematian akibat penyakit jantung iskemik secara global, namun lebih dari 30% terjadi di wilayah Timur Tengah dan Afrika Utara [13]. Anak-anak sangat rentan terhadap dampak buruk polusi udara terhadap kesehatan, bahkan tercatat 20% kematian bayi baru lahir di seluruh dunia disebabkan oleh paparan polusi udara [14].

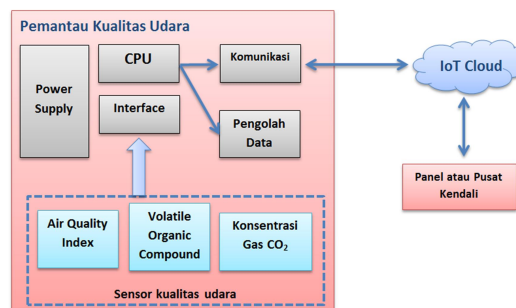
Dengan urgensi tersebut, pada jurnal ini disampaikan pengembangan sistem pengukuran kualitas udara berbasis IoT. Desain dikembangkan sebagai rintisan awal sistem pengukuran yang terjangkau dan dapat melakukan pengukuran secara periodis dalam jangka waktu panjang. Pengukuran jangka panjang merujuk pada proses pengumpulan dan analisis data dalam periode waktu yang lama untuk mengamati dan memahami tren, perubahan, dan dampak dari berbagai faktor atau intervensi. Pengukuran ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih akurat dan menyeluruh mengenai fenomena yang dipelajari dengan mempertimbangkan variabilitas dan fluktuasi yang mungkin tidak terlihat dalam jangka pendek. Dengan keunggulan ini diharapkan dapat dioperasikan pada wilayah seperti Indonesia yang memiliki daerah yang luas dan ragam latar belakang ekonomi.

## METODE PENELITIAN

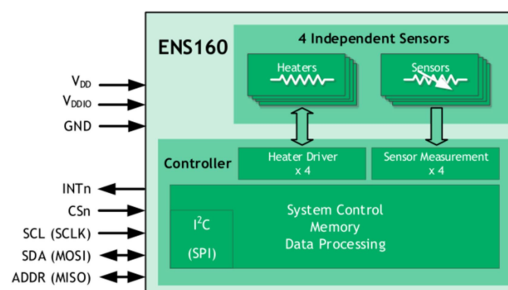
### Desain Sitem Pengukuran

Sistem pengukuran yang direncanakan memiliki unit sensor kualitas udara, pusat kontrol dan interface, bagian komunikasi dan pengolah data, seperti diperlihatkan pada gambar 1. Kualitas udara akan diukur oleh sensor ENS160 yang

bekerja secara simultan untuk konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, VOC dan level kualitas udara AQI. Dalam formulasi sistem pengukuran ini akan digunakan jenis sensor ENS160 yang telah memiliki kemampuan pengukuran 3 parameter seperti yang direncanakan. Sensor multi-gas digital NS160 terdiri dari empat pemanas independen dan elemen sensor gas, berdasarkan teknologi oksida logam (MOX), dan pengontrol seperti yang ditunjukkan pada diagram blok fungsional gambar 2.



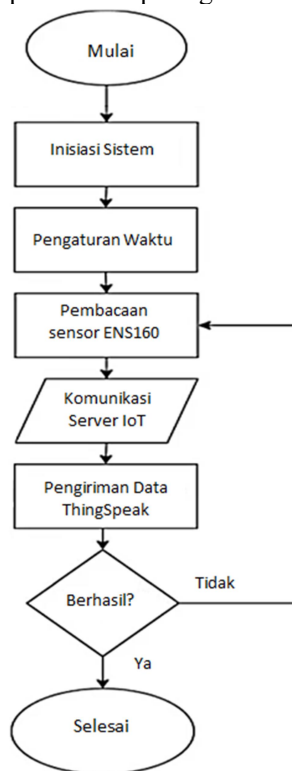
**Gambar 1.** Diagram blok formulasi sistem pengukuran kualitas udara.



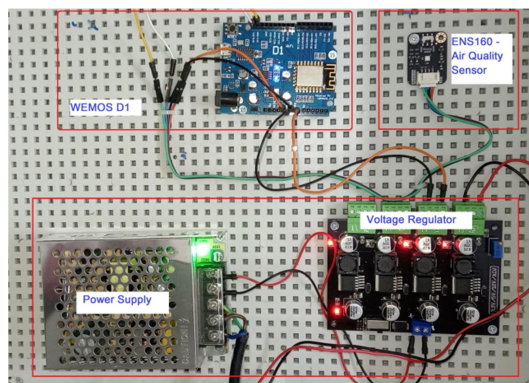
**Gambar 2.** Diagram blok fungsional sensor yang akan digunakan

Secara singkat cara kerja sensor diawali dari Driver Pemanas yang akan mengontrol mode pengoperasian sensor dan menyediakan daya ke masing-masing pemanas elemen sensor individu. Selama pengoperasian, driver pemanas mengatur pemanas ke arahnya titik pengaturan individu. Blok Pengukuran Sensor menentukan nilai resistansi sensor untuk setiap individu elemen sensor. Blok Kontrol Sistem selanjutnya akan memproses nilai resistansi secara internal untuk menghasilkan TVOC, eCO<sub>2</sub>, AQI dan sinyal lebih lanjut pada antarmuka digital. ENS160 mencakup antarmuka I2C digital 2 kabel standar (SCL, SDA) atau antarmuka SPI digital 4 kabel (SCLK, MOSI, MISO, CSn) untuk komunikasi ke prosesor host utama. Memori on-chip digunakan untuk menyimpan

nilai kalibrasi. Selanjutnya diagram alir program diperlihatkan pada gambar 3.



**Gambar 3.** Diagram alir cara kerja program dalam pembacaan sensor dan komunikasi IoT.



**Gambar 4.** Foto sistem yang dikembangkan terdiri dari papan WEMOS D1, sensor ENS160 dan unit power supply.

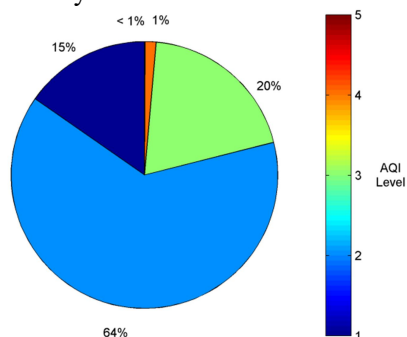
Dalam hal ini sensor akan mengirimkan data sesuai permintaan kontrol utama sistem yaitu WEMOS D1 melalui saluran SPI. Kontrol akan mengolah data yang diterima dari sensor dan selanjutnya melakukan formatting untuk berkomunikasi dengan server IoT ThingSpeak. Kontrol diprogram untuk melakukan pengukuran dan pengiriman data setiap 1 menit. Sehingga dengan 3 parameter ( $\text{CO}_2$ , VOC dan

AQI) dalam 1 jam akan dihasilkan  $3 \times 60$  atau 180 pesan. Dalam 1 hari dihasilkan  $180 \times 24$  atau 4.320 pesan/hari. Selanjutnya untuk melakukan analisa data akan diunduh pada komputer klien secara periodis. Dalam analisa data selanjutnya digunakan 200.000 data pertama sejak sistem diaktifkan, atau setara 4,5 bulan pengukuran. Selanjutnya data diunduh dan dilakukan analisa menggunakan perangkat lunak Octave.

### Hasil dan Analisa

Ujicoba dilakukan di ruang BU3 C, Program Studi Fisika, UKSW. Pengukuran dilakukan sejak tanggal 23 Juni 2023 hingga tercapai 200.000 data pada 19 November 2023. Foto hasil rancangan sistem diperlihatkan pada Gambar 4. Data akan selalu diperbaharui setiap menit dan ditampilkan melalui channel yang telah didaftarkan (<https://thingspeak.com/channels/2197202>).

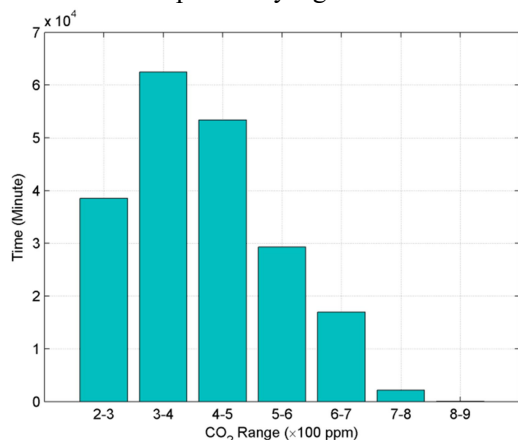
Analisa pertama untuk untuk distribusi kualitas udara ruangan tersebut diperlihatkan pada gambar 5. Rata-rata ruangan berada pada kategori AQI level 2 (64%) sehingga masih dalam kategori aman untuk kesehatan. Meskipun demikian diperlihatkan juga distribusi selanjutnya berada pada AQI level 3 (20%) yang artinya kondisi udara ruangan masih memerlukan penanganan minor agar lebih sehat. Untuk kategori AQI yang lebih tinggi tidak ditemukan kondisi menonjol (kurang dari 1%) sehingga dapat dianggap ruangan masih cukup layak digunakan dari segi kualitas udaranya.



**Gambar 5.** Rekapitulasi 4,5 bulan pengukuran kualitas udara AQI level, sebagian besar berada pada kualitas level 2 dengan prosentase 64% setara  $13 \times 104$  menit.

Analisa berikutnya terhadap konsentrasi  $\text{CO}_2$  dalam ruangan diperlihatkan pada Gambar 6. Dari kurva distribusi diperlihatkan puncak konsentrasi berada pada selang 300-400 ppm,

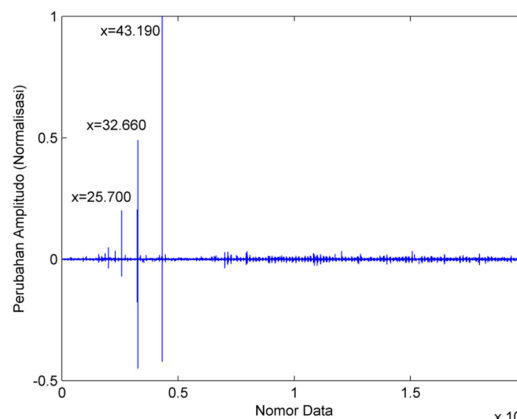
hal ini sebagai indikasi kondisi udara yang sangat baik. Meskipun mengalami peningkatan konsentrasi  $\text{CO}_2$  namun masih berada dalam kategori aman. Dalam mekanisme kerja ENS160 tingkat VOC secara numeric diturunkan dari konsentrasi  $\text{CO}_2$  dengan demikian dalam perhitungan ini tidak dilakukan analisa tersendiri karena memiliki perilaku yang identik.



**Gambar 6.** Rekapitulasi data pengukuran kadar  $\text{CO}_2$ , konsentrasi terbesar berada pada range 300-400 ppm diikuti oleh 400-500 ppm.

Berikutnya dilakukan uji kehandalan sistem terhadap kesalahan pengukuran yang mungkin terjadi. Untuk melakukan hal ini kurva data  $\text{CO}_2$  dilakukan diferensiasi. Tujuan diferensiasi adalah melihat perubahan pengukuran yang terlalu cepat. Secara alami konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  tidak dapat berubah terlalu cepat pada sebuah ruangan (tanpa gangguan). Pada penelitian lain untuk melakukan pengukuran ini diperlukan lebih dari satu sensor dan waktu pengukuran lebih dari 1 menit [15-16]. Dasar inilah yang digunakan untuk memeriksa kesalahan pengukuran. Kurva hasil pengolahan ini diperlihatkan pada Gambar 7. Terlihat bahwa sebagian besar data mengalami perubahan yang tidak ekstrim, terkecuali untuk 3 data pada nomor 25.700, 32.660 dan 43.190. Terlihat bahwa puncak perubahan bisa berkali lipat dari pengukuran sebelumnya, terutama pada data 43.190. Analisa lebih lanjut karena posisi datanya saling berdekatan sehingga diperkirakan terjadi gangguan pada waktu yang hampir sama. Meskipun demikian analisa lebih lanjut tidak dapat dilakukan karena tidak dicatat kondisi eksternal yang lain. Gangguan ini bisa muncul akibat lonjakan listrik maupun kontaminasi gas  $\text{CO}_2$  yang cukup tinggi pada jangka pendek (misalnya semprotan parfum atau gas lain yang mengganggu kerja sensor). Dalam

percobaan ini karena parameter external tidak dipantau maka kajian ini masih terbatas pada analisa matematis.



**Gambar 7.** Hasil diferensiasi data pengukuran  $\text{CO}_2$ , terlihat peningkatan puncak data yang terlalu ekstrim sebagai indikasi kesalahan pengukuran.

Telah dilakukan riset dan pengembangan sistem pemantauan kualitas udara untuk jangka panjang berbasis IoT. Sensor kualitas udara ENS160 berhasil memberikan nilai yang cukup stabil pada rentang waktu pengukuran panjang yaitu hingga 4,5 bulan. Sedangkan control utama WEMOS D1 berhasil secara simultan menarik data dari sensor dan mengirimkan ke server IoT ThingSpeak melalui jalur WIFI setiap 1 menit. Selanjutnya diperlihatkan juga keberhasilan penggunaan server IoT ThingSpeak yang mencatat data akumulasi untuk 200.000 pengukuran. Jika dikalikan dengan parameter yang diukur (AQI,  $\text{CO}_2$  dan VOC) maka sistem berhasil merekam 600.000 data selama 4,5 bulan secara terus-menerus. Analisa kesalahan data terhadap lonjakan pengukuran diperlihatkan jauh dibawah nilai 1%. Hal ini menunjukkan kehandalan sistem untuk pengukuran jangka panjang, sekaligus memperlihatkan desain sistem yang sederhana dengan biaya yang terjangkau.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung skema Riset Fundamental, Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DRPM), Wakil Rektor Riset, Inovasi dan Kewirausahaan (WR-RIK), Universitas Kristen Satya Wacana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Xu S, A. Marcon, R.J. Bertelsen, B. Benediktsdottir, J. Brandt, K. Engemann, L.M. Frohn, C. Geels, T. Gislason, J.

- Heinrich, M. Holm, C. Janson, I. Markevych, L. Modig, H. Orru, V. Schlünssen, T. Sigsgaard, A. Johannessen, "Long-term exposure to low-level air pollution and greenness and mortality in Northern Europe," *Environment International*, vol. 181 no. 108257, pp.1-11, 2023
- [2] B. Brunekreef, M. Strak, J. Chen, *et al* "Mortality and Morbidity Effects of Long-Term Exposure to Low-Level PM<sub>2.5</sub>, BC, NO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub>: An Analysis of European Cohorts in the ELAPSE Project," *Research Reports: Health Effects Institute*, vol. 208, pp.1-127, 2021
- [3] P. Qin, X. Luo, Y. Zeng, Y. Zhang, Y. Li, Y. Wu, M. Han, R. Qie, X. Wu, D. Liu, S. Huang, Y. Zhao, Y. Feng, X. Yang, F. Hu, X. Sun, D. Hu, M. Zhang, "Long-term association of ambient air pollution and hypertension in adults and in children: A systematic review and meta-analysis," *Science of The Total Environment*, vol. 20, no.796, pp.148620, 2021
- [4] P. Thangavel, D. Park, & Y.C. Lee, "Recent insights into particulate matter (PM<sub>2.5</sub>)-mediated toxicity in humans: An overview," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 12, pp.7511, 2022
- [5] W. Wathanavasin, A. Banjongjit, , Phannajit, J., *et al*, "Association of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) exposure and chronic kidney disease outcomes: a systematic review and meta-analysis," *Scientific Reports*, vol. 14, pp.1048, 2024.
- [6] M. Abbasi-Kangevari, M.R. Malekpour, M. Masinaei, S.S. Moghaddam, S.H. Ghamari, Z. Abbasi-Kangevari, N. Rezaei, N. Rezaei, A.H. Mokdad, M. Naghavi, B. Larijani, F. Farzadfar, C.J.L. Murray, "GBD 2019 North Africa and the Middle East Air Pollution Collaborators. Effect of air pollution on disease burden, mortality, and life expectancy in North Africa and the Middle East: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019," *Lancet Planet Health*, vol. 7, no. 5, pp.e358-e369, 2023.
- [7] O. S. Ebhota, Y. Hongxing, dan A. K. Sampene, , "Air pollution and life expectancy: New evidence from the MINT economies," *Heliyon*, vol. 9, no. 12, pp.e22396, 2023.
- [8] F. Dominici; J. Schwartz., "Air Pollution and Mortality in the US using Medicare and Medicaid Populations", *Environmental Epidemiology*, vol. 3, pp.356-357, 2019.
- [9] Y. Wei, M.D. Yazdi, Q. Di, *et al.*, "Emulating causal dose-response relations between air pollutants and mortality in the Medicare population," *Environmental Health*, vol. 20, pp.53, 2021.
- [10] K. Bhui, J. B. Newbury, R. M. Latham,, *et al.*, "Air quality and mental health: evidence, challenges and future directions," *BJPsych Open*, vol. 9, no. 4), pp. e120, 2023.
- [11] N. A. Ali, & Khoja, "Growing evidence for the impact of air pollution on depression," *The Ochsner Journal*, vol. 19, no. 1, pp.1-4, 2019.
- [12] P. Cianconi, S. Betrò, & L.Janiri, " The impact of climate change on mental health: A systematic descriptive review," *Frontiers in Psychiatry*, vol. 11, no. 74), pp.1-10, 2020.
- [13] M. M. Hossain, and M. N. Hasan, "Ambient air pollution and respiratory health problems among children: a review," *Journal of Environmental Science and Health*, vol. 37, no. 1, pp.1-22, 2019.
- [14] N. Siddika, H. Balogun, A. K. Amegah, , and J. J. K. Jaakkola, "Prenatal ambient air pollution exposure and the risk of stillbirth: systematic review and meta-analysis of the empirical evidence," *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 76, no. 2, pp.105-113, 2019.

- [15] T. H. Nasution, A. Hizriadi, K. Tanjung and F. Nurmayadi, "Design of Indoor Air Quality Monitoring Systems," *2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM)*, Medan, Indonesia, pp. 238-241, 2020.
  
- [16] S. Ochie, M. R. Usikalu, A. Akinpelu, , W. A. Ayara, & O.W. Ayanbisi, "Design and construction of a home air quality monitoring system," *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, vol. 993, no. 1, pp.012022, 2020