

**PENGEMBANGAN INSTRUMEN PENGUKURAN KUALITAS
UDARA MENGGUNAKAN SENSOR PMS7003**

TESIS



Disusun oleh:

TANTI TRITAMA OKAEM

NIM: 20229008

*Ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam
mendapatkan gelar Magister Sains*

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Tanti Tritama Okaem
Nim : 20229008
Fakultas : MIPA
Jurusan : FISIKA
Program Studi : (S2) FISIKA

Dengan ini menyatakan bahwa judul Tesis Pengembangan Instrumen Pengukuran Kualitas Udara Menggunakan Sensor PMS7003 benar bebas dari plagiat

apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Padang, 21 Juni 2022



Tanti Tritama Okaem

PERSETUJUAN AKHIR TESIS

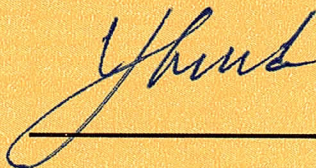
Nama Mahasiswa : Tanti Tritama Okaem
NIM : 20229008

Nama

Tanda Tangan

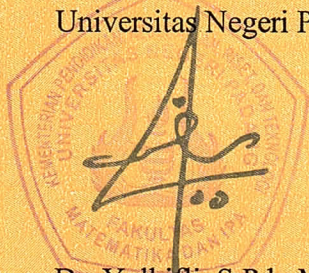
Tanggal

Yohandri, M.Si, Ph.D
NIP. 19780725 200604 1 003
Pembimbing



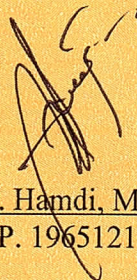
16/6-22

Dekan FMIPA
Universitas Negeri Padang,



Dr. Yulkifli, S.Pd., M.Si
NIP.19730702 200312 1 002

Ketua Program Studi,



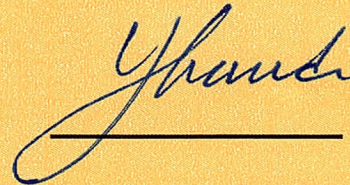
Dr. Hamdi, M.Si
NIP. 19651217 199203 1 003

PERSETUJUAN KOMISI UJIAN TESIS
MAGISTER FISIKA

No Nama

Tanda Tangan

1 Yohandri, M.Si, Ph.D
 (Ketua)



2 Dr. Nofi Yendri Sudiar, M.Si
 (Anggota)



3 Dr. Hamdi, M.Si
 (Anggota)



Mahasiswa:

Nama	: Tanti Tritama Okaem
NIM	: 20229008
Tanggal ujian	: Rabu, 25 Mei 2022

ABSTRACT

Okaem, Tanti Tritama. 2022. "Development of Air Quality Measurement Instrument using PMS7003 Sensor". Thesis. Graduate Program of Padang State University.

Air pollution is one of the global environmental problems. One of the air quality parameters of concern is Particulate Matter 2.5 ug/m (PM2.5) because it causes respiratory health problems. The PM2.5 air quality information is very limited due to the number and operational constraints of the instrument, so the development of air quality measurement equipment using the PMS7003 sensor is carried out. The test was carried out at SPAG Bukit Kototabang for 1 month, the instrument was compared with the MetOne BAM 1020 reference equipment for concentrations of PM2.5 and PM10. This research was conducted using the Plomp development model. The results obtained by the PMS7003 sensor are suitable for measuring the concentration of PM2.5 compared to PM10. The results of PM2.5 testing with reference instruments were obtained, namely correlation 0.68, RMSE 3.83, bias -0.43, MAE 2.91, accuracy 0.92 and PM2.5 concentration on the PMS7003 sensor increased when humidity was above 90%.

Keywords: particulate, sensor, PMS7003

ABSTRAK

Okaem, Tanti Tritama. 2022. “Pengembangan Instrumen Pengukuran Kualitas Udara Menggunakan Sensor PMS7003”. Tesis. Program Pascasarjana Universitas Negeri Padang.

Pencemaran udara menjadi salah satu permasalahan lingkungan secara global. Salah satu parameter kualitas udara yang menjadi perhatian yaitu *Particulate Matter* 2.5 ug/m (PM2.5) karena mengakibatkan gangguan kesehatan pada pernafasan. Informasi kualitas udara PM2.5 tersebut sangat terbatas karena terkendala jumlah dan operasional dari intrumennya, sehingga dilakukan pengembangan peralatan pengukuran kualitas udara menggunakan sensor PMS7003. Pengujian dilakukan di SPAG Bukit Kototabang selama 1 bulan, instrumen dibandingkan dengan peralatan referensi MetOne BAM 1020 untuk konsentrasi PM2.5 dan PM10. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model pengembangan *Plomp*. Hasil yang diperoleh sensor PMS7003 layak digunakan untuk pengukuran konsentrasi PM2.5 dibandingkan PM10. Hasil pengujian PM2.5 dengan instrumen referensi diperoleh yaitu korelasi 0,68, RMSE 3,83, bias -0.43, MAE 2.91, ketepatan 0.92 dan konsentrasi PM2.5 pada sensor PMS7003 meningkat saat kelembaban diatas 90%.

Kata kunci: Partikulat, sensor, PMS7003

KATA PENGANTAR

Puji beserta syukur atas kehadiran Allah SWT, atas karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tesis yang berjudul **“Pengembangan Instrumen Pengukuran Kualitas Udara Menggunakan Sensor PMS7003”**. Tulisan ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar magister program S2 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Tesis ini bisa peneliti selesaikan dengan bantuan, bimbingan, serta arahan dari berbagai pihak. Peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada bapak Yohandri, M.Si., Ph.D selaku pembimbing, bapak Dr. Novi Yendri Sudiar, M.Si dan bapak Dr. Hamdi, M. Si selaku penguji, yang telah memberi bimbingan, arahan, dan saran terhadap penelitian dan penulisan tesis ini. Terima kasih juga kepada bapak/ibu dosen jurusan Fisika FMIPA UNP, staf administrasi, dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung membantu penelitian ini terlaksana.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tesis ini, sehingga kritik dan saran sangat diharapkan. Penulis juga berharap adanya penelitian baru, baik untuk melanjutkan ataupun menyempurnakan data-data dan pernyataan yang ada pada penelitian ini. Akhir kata semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya dibidang fisika instrumentasi.

Padang, Mei 2022

Tanti Tritama Okaem

DAFTAR ISI

ABSTRACT.....	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Pembatasan Masalah	4
C. Perumusan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. <i>Particulate Matter</i> (PM).....	6
B. <i>Particulate Matter Sensors</i> (PMS7003).....	8
C. Sensor suhu dan kelembaban ASAIR AM2302 tipe DHT 22.....	13
D. <i>Microcontroller</i>	15
E. <i>MetOne Beta Attenuation Monitor</i> (BAM 1020)	18
F. <i>Real Time Clock</i> (RTC).....	20
G. Lokasi Pengambilan contoh uji	21
H. <i>Liquid Crystal Display</i> (LCD).....	22
I. <i>Penelitian relevan</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
A. Model Penelitian Pengembangan	27
B. Prosedur Penelitian.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
A. Hasil Penelitian	57
1. Hasil pengukuran konsentrasi <i>Particulate Matter</i> 2.5 μm	57
2. Hasil pengukuran konsentrasi <i>Particulate Matter</i> 10 μm	60

3. Hasil dan Analisis Temperatur	63
4. Hasil dan Analisis Kelembaban	66
B. Pembahasan Penelitian.....	68
1. <i>Analisis Particulate Matter</i>	70
2. <i>Analisis Hubungan Konsentrasi PM2.5 dengan Kelembaban</i>	72
3. <i>Aplikasi Data Particulate Matter</i>	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	76
A. KESIMPULAN	76
B. SARAN	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Karakteristik Sensor PMS7003	10
Tabel 2.	Penelitian-penelitian yang relevan.....	24
Tabel 3.	Koneksi Sensor PMS 7003 (1) ke mikrokontroler	35
Tabel 4.	Koneksi Sensor PMS 7003 (2) ke mikrokontroler	36
Tabel 5.	Koneksi Sensor DHT 22 ke mikrokontroler.....	36
Tabel 6.	Koneksi Modul RTC DS3231 ke Mikrokontroler.....	37
Tabel 7.	Koneksi Modul SD Card ke mikrokontroler	38
Tabel 8.	Koneksi modul NodeMCU ESP8266 ke mikrokontroler	39
Tabel 9.	Koneksi LCD ke mikrokontroler.....	39
Tabel 10.	Statistik deskriptif PM2.5 instrumen PMS7003 dan BAM1020	58
Tabel 11.	Uji validasi konsentrasi PM2.5 instrumen PMS7003 dan BAM1020	58
Tabel 12.	Ketepatan instrumen PMS7003 dan BAM1020	59
Tabel 13.	Ketelitian dan pembacaan pada instrumen PMS7003	59
Tabel 14.	Statistik deskriptif PM10 instrumen PMS7003 dan BAM1020	61
Tabel 15.	Uji validasi konsentrasi PM10 instrumen PMS7003 dan BAM1020	61
Tabel 16.	Ketepatan instrumen PMS7003 dan BAM1020	62
Tabel 17.	Ketelitian dan pembacaan pada instrumen PMS7003	63
Tabel 18.	Statistik Deskriptif Temperatur instrumen PMS7003 dan BAM1020	65
Tabel 19.	Uji validasi temperatur instrumen PMS7003 dan BAM1020	65
Tabel 20.	Statistik deskriptif kelembaban instrumen PMS7003 terhadap BAM1020.....	67
Tabel 21.	Uji validasi kelembaban instrumen PMS7003 terhadap BAM1020 .	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi ukuran <i>Particulate Matter</i> (PM).....	6
Gambar 2. Sensor PMS 7003.....	9
Gambar 3. Diagram blok fungsional pada sensor	10
Gambar 4. Definisi nomor seri pada sensor	11
Gambar 5. Sensor ASAIR AM2302 tipe DHT 22	15
Gambar 6. <i>NodeMCU</i>	17
Gambar 7. Instrumen <i>Particulate Matter</i> BAM 1020 (MetOne)	19
Gambar 8. Pengukuran sampel pada BAM 1020.....	19
Gambar 9. RTC DS3231	20
Gambar 10. <i>Liquid Crystal Display</i>	23
Gambar 11. Model Plomp	28
Gambar 12. Lokasi Penelitian di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Kabupaten Agam	29
Gambar 13. Blok diagram perangkat	31
Gambar 14. Diagram alir sistem instrumen PMS7003	32
Gambar 15. Rangkaian Skematik.....	33
Gambar 16. Koneksi Sensor PMS 7003 (1) ke mikrokontroler	35
Gambar 17. Koneksi Sensor PMS 7003 (2) ke mikrokontroler	35
Gambar 18. Koneksi Sensor DHT 22 ke mikrokontroler	36
Gambar 19. Koneksi Modul RTC DS3231 ke mikrokontroler	37
Gambar 20. Koneksi Modul SD Card ke mikrokontroler	38
Gambar 21. Koneksi modul <i>NodeMCU</i> ESP8266 ke mikrokontroler.....	38
Gambar 22. Koneksi LCD ke mikrokontroler.....	39
Gambar 23. Keseluruhan desain <i>casing</i> instrumen sensor.....	40
Gambar 24. Desain <i>casing</i> prosesor instrumen sensor.....	41
Gambar 25. Peletakan komponen prosesor instrumen sensor.....	41
ukuran <i>casing</i> 18cm x 20 cm x 12 cm.....	41
Gambar 26. Peletakkan komponen sensor-sensor.....	42

ukuran <i>casing</i> 10cm x 10cm x 10cm.....	42
Gambar 27. <i>Script</i> sistem instrumen	43
Gambar 28. <i>Script</i> modul <i>NodeMCU</i> ESP8266.....	43
Gambar 29. Tampilan aplikasi <i>blynk</i>	43
Gambar 30. Pengaturan <i>hardware</i> dan <i>connection</i> mode <i>blynk</i>	44
Gambar 31. Kerangka rancang bangun instrumen kualitas udara.....	46
Gambar 32. Lokasi dan posisi instrumen PMS7003 dan BAM1020	56
Gambar 33. Tren konsentrasi PM2.5 instrumen PMS7003 dan BAM1020	57
Gambar 34. Tren konsentrasi PM10 instrumen PMS7003 dan BAM1020	60
Gambar 35. Tren nilai temperatur instrumen PMS7003 dan BAM1020	64
Gambar 36. Tren nilai kelembaban instrumen PMS7003 dan BAM1020	66
Gambar 37. Fase desain dan casing instrument PMS7003	69
Gambar 38. Pengujian instrumen PMS7003 dengan instrumen BAM1020	69
Gambar 39. Hubungan antara konsentrasi PM2.5 PMS7003 dan BAM1020.....	71
Gambar 40. Hubungan konsentrasi PM2.5 dengan kelembaban	72
Gambar 41. Pengaruh kelembaban terhadap konsentrasi PM2.5.....	73
Gambar 42. Tampilan instrumen PMS7003 di aplikasi <i>blynk</i> pada <i>smartphone</i> . 75	

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang terjadi secara global, yaitu berupa penurunan kualitas udara yang disebabkan oleh adanya polutan/unsur-unsur berbahaya yang masuk ke dalam udara atau atmosfer bumi. Faktor alam dan faktor manusia menjadi penyebab dari sumber polutan tersebut. Pencemaran udara dari faktor alam seperti dari abu dan gas vulkanik gunung berapi, kegiatan mikroorganisme dan kebakaran hutan. Sedangkan faktor manusia berupa semua aktifitas manusia yang menghasilkan polutan udara seperti kegiatan industri dan energi, transportasi, pertanian, pembakaran dan lainnya. Data dari *World Health Organization* (WHO) menyatakan 9 dari 10 orang di dunia menghirup udara dengan tingkat polusi yang melampaui ambang batas berdasarkan standar untuk kesehatan (Buonanno & Hänninen, 2018). Tingkat konsentrasi polutan yang tinggi tidak hanya memberikan dampak terhadap manusia, satwa liar dan ternak, tetapi juga menyebabkan kerusakan lingkungan terutama pada vegetasi tumbuhan dan masa depan hutan (Felzer et al., 2007). Salah satu jenis polutan udara yang berbahaya adalah partikel udara/*Particulate Matter* (PM).

Particulate Matter (PM) merupakan salah satu bahan pencemar pada udara yang terdiri dari campuran partikel padat (seperti debu, asap, kotoran, jelaga) dan tetesan cairan pada udara yang memiliki ukuran yang cukup kecil. PM memiliki ukuran yaitu berukuran kurang dari 100 μm , namun berdasarkan studi

epidemiologi PM_{2,5} lebih berbahaya dari PM₁₀ dan TSP, karena dapat menyusup jauh dalam area *alveoli* paru-paru manusia. PM_{2,5} dengan ukurannya yang sangat kecil tersebut apabila terhirup dan masuk ke dalam tubuh bisa berpenetrasi ke dalam saluran pernapasan bawah sehingga bisa melewati aliran darah dan mengakibatkan kematian akibat paparannya (Cheng et al., 2012). Selain itu, PM_{2,5} juga dapat mengakibatkan Infeksi Saluran Pernapasan (ISPA), penyakit *kardiovaskular*, kanker paru-paru, kematian dini dan penyakit paru-paru *obstruktif kronis* (WHO, 2010). Maka dari itu informasi kualitas udara/*Particulate Matter* sangat dibutuhkan untuk kesehatan dan untuk beraktivitas sehari-hari.

Di Indonesia, informasi kualitas udara untuk sekarang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan peralatan otomatis yang beroperasi pada beberapa instansi pemerintahan. BMKG salah satu instansi pemerintahan yang menggunakan peralatan otomatis MetOne *Beta-Ray Attenuation Monitors* (BAM) 1020 untuk pengukuran PM_{2,5} yang tersebar sebanyak 27 unit di seluruh Indonesia (*update 20 September 2021*). MetOne BAM1020 memiliki prinsip kerja berdasarkan pelemahan partikel *beta* yang mana melalui materi padatan yang terkumpul pada filter fiber dalam satu volume udara ambien yang dihisap oleh pompa (Instrumens & Pass, 2011). Selain MetOne BAM1020 pengukuran kualitas udara juga menggunakan peralatan otomatis *Tapered Element Oscillating Microbalances* (TEOMs). Instrumen TEOM adalah satu-satunya pemantau massa berbasis filter yang mengukur massa partikel tersuspensi dalam aliran gas secara *real time*, melalui penggunaan *transducer massa inersia* (Thermo Fisher Scientific, 2007). Peralatan-peralatan otomatis ini memiliki harga dan perawatan

yang tinggi sehingga keberadaannya sangat terbatas. Selain itu, peralatan-peralatan tersebut membutuhkan operator yang kompeten dalam pengoperasiaannya. Untuk mengatasi keadaan atau permasalahan ini maka dilakukan pengembangan peralatan pengukuran kualitas udara berbasis sensor.

Pengembangan peralatan pengukuran kualitas udara dengan menggunakan sensor menjadikannya alat yang menjanjikan untuk aplikasi pemantauan kualitas udara yang akan datang. Sensor *Particulate Matter* mengukur kualitas udara dengan prinsip kerja mengukur cahaya yang dihamburkan oleh partikel. Sensor PM memiliki harga yang tergolong murah, selain mudah digunakan sensor PM juga bisa dihubungkan ke mikrokomputer (Snyder et al., 2013). Keuntungan lain dari sensor PM yaitu konsumsi energi yang rendah, dengan tegangan daya 5 V dan arus 250 mA, ukuran relatif kecil dan ringan serta data yang dihasilkan dapat dikumpulkan dengan frekuensi yang tinggi (Gao et al., 2015).

Particulate Matter Sensor (PMS) 7003 merupakan salah satu sensor yang berfungsi untuk mengukur partikel udara/*Particulate Matter*. Berdasarkan penelitian dari Badura et al, sensor PMS7003 memiliki akurasi yang tinggi dibandingkan dengan sensor lainnya (sensor SDS011, ZH03A, dan OPC-N2) (Badura et al., 2018). Bauerová et al juga memperoleh kualitas pengukuran dari PMS7003 lebih baik dari OPC-N2 dan tidak memberikan pengaruh pada kondisi kelembaban yang tinggi (Bauerová et al., 2020). Verifikasi silang beberapa sensor PMS7003 juga menunjukkan akurasi data yang tinggi, yaitu ditunjukkan dengan koefisien linieritas mendekati 1 (Nurhidayatullah, dkk., 2019).

Berdasarkan alasan diatas, pentingnya dilakukan pengembangan instrumen untuk pengukuran kualitas udara dengan menggunakan sensor PMS7003. Instrumen *Particulate Matter* ini akan diuji validasi dan tentunya akan sangat berperan dalam informasi kualitas udara untuk masyarakat dan *stakeholder*, sehingga bisa sebagai bentuk langkah mitigasi saat terjadinya bencana kabut asap ataupun kondisi kualitas udara yang buruk. Berdasarkan penjelasan latar belakang ini, maka telah dilakukan penelitian dengan judul “***Pengembangan Instrumen Pengukuran Kualitas Udara Menggunakan Sensor PMS7003***”

B. Pembatasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pembatasan yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan secara *spasial* pada Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang
2. Penelitian dibatasi hanya untuk parameter PM2.5, dan PM10
3. Faktor yang akan diidentifikasi yang mempengaruhi konsentrasi *Particulate Matter* adalah temperatur dan kelembaban.

C. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian sebelumnya dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Apakah penggunaan sensor PMS7003 layak digunakan dan bisa merepresentasikan keadaan udara ambien?
2. Apakah kelembaban dan temperatur mempengaruhi hasil pengukuran dari sensor PMS7003?

3. Bagaimana pengaplikasian data *Particulate Matter*?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji dan menganalisis kelayakan sensor PMS7003 untuk merepresentasikan keadaan udara ambien
2. Menganalisis pengaruh kelembaban dan temperatur terhadap hasil pengukuran dari sensor PMS7003
3. Mengaplikasikan informasi *Particulate Matter* melalui aplikasi *smartphone/seluler*

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat berdasarkan tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis

Penelitian ini diharapkan memberikan tambahan ilmu pengetahuan tentang aplikasi dan penggunaan sensor dengan biaya rendah

2. Manfaat akademis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pedoman untuk penelitian lanjutan dengan perbandingan sensor dan perluasan jaringan sensor.

3. Manfaat praktis

Penelitian ini diharapkan bisa memberi informasi kepada masyarakat tentang potensi resiko penurunan kualitas udara akibat PM_{2,5} dan kepada pemerintah untuk merumuskan strategi agar meminimalisir dampak buruk pencemaran udara akibat PM_{2,5}.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Hasil pengembangan instrumen pengukuran kualitas udara menggunakan sensor PMS7003, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Instrumen sensor PMS7003 layak digunakan dan bisa merepresentasikan keadaan udara ambien pada pengukuran PM_{2.5} dan tidak layak untuk pengukuran konsentrasi PM₁₀.
2. Kelembaban dan temperatur mempengaruhi hasil pengukuran konsentrasi dari sensor PMS7003, yaitu semakin tinggi kelembaban dan semakin rendah temperatur maka konsentrasi PM yang terbaca semakin tinggi
3. Informasi *Particulat Matter* (PM) diaplikasikan pada aplikasi *blynk* pada *smartphone*

B. SARAN

Adapun saran-saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan casing sangat mempengaruhi dalam pengaplikasian sensor temperatur dan kelembaban
2. Pengujian instrumen kualitas udara dengan alat referensi sebaiknya menggunakan lebih banyak data sehingga data yang dianalisa lebih representatif
3. Pengujian instrumen pengukuran kualitas udara PMS7003 sebaiknya dilakukan pada topografi yang berbeda sehingga bisa mewakilkan kualitas udara pada kondisi lingkungan/topografi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfano, B., Barretta, L., Del Giudice, A., De Vito, S., Di Francia, G., Esposito, E., Formisano, F., Massera, E., Miglietta, M. L., & Polichetti, T. (2021). Correction to: A review of low-cost Particulate Matter sensors from the developers' perspectives (*Sensors* 2020, 20, 6819). *Sensors*, 21(9). <https://doi.org/10.3390/s21093060>
- Azizah, I. T. N. (2019). Analysis The Level Of PM_{2,5} And Lung Function Of Organic Fertilizer Industry Workers In Nganjuk. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2), 141. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i2.2019.141-149>
- Badura, M., Batog, P., Drzeniecka-Osiadacz, A., & Modzel, P. (2018). Evaluation of low-cost sensors for ambient PM_{2.5} monitoring. *Journal of Sensors*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5096540>
- Barbara B. Seels, R. C. R. (1994). *Instructional Technology: The Definition and Domains of the Field*. Association for Educational Communications and Technology. <https://books.google.co.id/books?id=fwIoDwAAQBAJ&lpg=PP1&hl=id&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Bauerová, P., Šindelářová, A., Rychlík, Š., Novák, Z., & Keder, J. (2020). Low-cost air quality sensors: One-year field comparative measurement of different gas sensors and particle counters with reference monitors at tusimice observatory. *Atmosphere*, 11(5), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ATMOS11050492>
- Brown, D. M., Donaldson, K., Borm, P. J., Schins, R. P., Dehnhardt, M., Gilmour, P., Jimenez, L. A., & Stone, V. (2004). Calcium and ROS-mediated activation of transcription factors and TNF- α cytokine gene expression in macrophages exposed to ultrafine particles. *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology*, 286(2 30-2), 344–353. <https://doi.org/10.1152/ajplung.00139.2003>
- Buonanno, G., & Hänninen, O. (2018). Air quality and health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 1–9. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112399>
- Cheng, Y. H., Chang, H. P., & Yan, J. W. (2012). Temporal variations in airborne Particulate Matter levels at an indoor bus terminal and exposure implications for terminal workers. *Aerosol and Air Quality Research*, 12(1), 30–38. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2011.06.0085>
- Dewi Lusita Hidayati Nurul, Rohmah F mimin, Z. D. (2019). *Prototype Smart Home Dengan Modul Nodemcu Esp8266 Berbasis Internet of Things (Iot)*. 3.
- EEA. (2017). *E.E.A. Air quality in Europe — 2017 report — EEA Report No 13/2017* (Issue 13). <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2017>
- EPA. (2021). *Particulate Matter (PM) Basics*. 2021. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- Felzer, B. S., Cronin, T., Reilly, J. M., Melillo, J. M., & Wang, X. (2007). Impacts