

**SISTEM PEMANTAUAN POLUSI UDARA BERBASIS  
*INTERNET OF THINGS* DENGAN ALGORITMA *LONG  
SHORT-TERM MEMORY***

**SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi sebagian dari  
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
Program Studi Ilmu Komputer



oleh  
Deva Shofa Al Fathin  
2000793

**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN  
ALAM  
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA  
2024**

**SISTEM PEMANTAUAN POLUSI UDARA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* DENGAN ALGORITMA *LONG SHORT-TERM MEMORY***

Oleh

Deva Shofa Al Fathin

2000793

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Komputer  
pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Deva Shofa Al Fathin

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2024

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan

dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

DEVA SHOFA AL FATHIN

2000793

**SISTEM PEMANTAUAN POLUSI UDARA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* DENGAN ALGORITMA *LONG SHORT-TERM MEMORY***

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH PEMBIMBING:

Pembimbing I,



**Eddy Prasetyo Nugroho, M.T.**

NIP. 197505152008011014

Pembimbing II,



**Dr. Muhammad Nursalman, M.T.**

NIP. 197909292006041002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Ilmu Komputer



**Dr. Muhammad Nursalman, M.T.**

NIP. 197909292006041002

# **SISTEM PEMANTAUAN POLUSI UDARA BERBASIS *INTERNET OF THINGS* DENGAN ALGORITMA *LONG SHORT-TERM MEMORY***

Oleh

Deva Shofa Al Fathin – devasa@upi.edu

2000793

## **ABSTRAK**

Kualitas udara memiliki peran penting bagi keberlanjutan kehidupan makhluk hidup di Bumi, khususnya manusia. Aktivitas manusia, terutama pertumbuhan industri dan kendaraan bermotor, telah berkontribusi signifikan terhadap pencemaran udara. Partikulat halus (PM1.0, PM2.5, PM10) dan karbon monoksida (CO) dari polusi udara berpotensi menyebabkan dampak serius pada kesehatan manusia. Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Bandung mencatat tingkat polusi yang cukup tinggi, menunjukkan perlunya sistem pemantauan kualitas udara secara *real-time*. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan polusi udara di Kota Bandung dengan membentuk *dataset* polusi udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang diperoleh dari perangkat kontroler IoT yang dipasang di tiga titik pemantauan di Kota Bandung. Sensor yang digunakan mampu mendeteksi zat polutan seperti PM1.0, PM2.5, PM10, dan CO, yang umumnya berasal dari industri dan kendaraan bermotor. Data yang dikumpulkan diproses menggunakan algoritma *Long Short-Term Memory* (LSTM) secara *cloud* untuk mengkomputasi prediksi nilai polutan dalam bentuk numerik yang akurat. Hasil evaluasi model menunjukkan nilai RMSE sebesar 2.680 untuk prediksi PM2.5. Berdasarkan skor rata-rata ISPU, lokasi paling berpolusi adalah lokasi 1 dan lokasi 3, yang keduanya masuk dalam kategori Tidak Sehat, dengan skor rata-rata ISPU untuk polutan CO masing-masing sebesar 179 di lokasi 1 dan 148 di lokasi 3. Sistem integrasi berbasis IoT ini juga telah berhasil dirancang dan diimplementasikan, sehingga data kualitas udara beserta hasil prediksinya dapat ditampilkan pada *website* yang dapat diakses oleh pengguna.

Kata kunci: IoT, polusi udara, polutan, pemantauan, prediksi.

**INTERNET OF THINGS BASED AIR POLLUTION MONITORING  
SYSTEM WITH LONG SHORT-TERM MEMORY ALGORITHM**

*Arranged by*

Deva Shofa Al Fathin – devasa@upi.edu

2000793

**ABSTRACT**

*Air quality plays an important role in the sustainability of life on Earth, especially humans. Human activities, especially industrial growth and motorised vehicles, have contributed significantly to air pollution. Fine particulates (PM1.0, PM2.5, PM10) and carbon monoxide (CO) from air pollution have the potential to cause serious impacts on human health. The Environmental Agency (DLH) of Bandung City recorded quite high pollution levels, indicating the need for a real-time air quality monitoring system. This research aims to develop an air pollution monitoring system in Bandung City by forming an Internet of Things (IoT)-based air pollution dataset obtained from IoT controller devices installed at three monitoring points in Bandung City. The sensors used are capable of detecting pollutants such as PM1.0, PM2.5, PM10, and CO, which generally come from industries and motor vehicles. The collected data is processed using the Long Short-Term Memory (LSTM) algorithm in the cloud to compute accurate numerical predictions of pollutant values. The model evaluation results show an RMSE value of 2,680 for PM2.5 prediction. Based on the average ISPU score, the most polluted locations are location 1 and location 3, both of which fall into the Unhealthy category, with an average ISPU score for CO pollutants of 179 in location 1 and 148 in location 3, respectively. This IoT-based integration system has also been successfully designed and implemented, so that air quality data and prediction results can be displayed on a website that can be accessed by users.*

*Keywords: air pollution, IoT, monitoring, pollutants, prediction.*

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Organisasi Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	7
2.1 Peta Literatur .....	7
2.2 Pemantauan .....	7
2.3 Pemantauan <i>Real-time</i> .....	8
2.4 Udara .....	9
2.5 Polusi Udara .....	9
2.6 <i>Particulate Matter</i> (PM).....	12
2.7 Karbonmonoksida (CO) .....	13
2.8 Dampak Zat Polusi PM dan CO bagi Kesehatan .....	13
2.9 Statistik Polusi Udara di Kota Bandung.....	14
2.10 <i>Internet of Things</i> (IoT).....	15
2.11 <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM).....	17
2.12 State of The Art .....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Desain Penelitian .....	31

3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	33
3.3	Alat dan Bahan .....	34
3.4	Analisis Kebutuhan .....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		36
4.1	Pembentukan <i>Dataset</i> .....	36
4.2	Pengumpulan Data .....	36
4.3	Analisis Kebutuhan Sistem .....	37
4.4	Pembangunan Sistem Pemantauan Polusi Udara berbasis IoT .....	40
4.4.1	Arsitektur Sistem.....	40
4.4.2	Arsitektur Kontroler .....	42
4.4.3	Diagram Alir Sistem .....	43
4.4.4	Server Sistem Pemantauan Polusi Udara .....	44
4.4.5	Model Data.....	46
4.5	Sistem Kontroler Pemantauan Polusi Udara berbasis IoT .....	48
4.6	Pembangunan Model LSTM .....	49
4.6.1	Preprocess Data.....	52
4.6.2	Data Preparation.....	53
4.6.3	Evaluasi Model.....	54
4.7	Skenario Eksperimen .....	55
4.7.1	Skenario Kalibrasi Sensor .....	55
4.7.2	Skenario Pengujian Perangkat Skala Lab .....	55
4.7.3	Skenario Pengujian di Lapangan.....	56
4.7.4	Skenario Pengujian Model LSTM dengan Data Historis.....	56
4.8	Hasil Eksperimen .....	57
4.8.1	Hasil Kalibrasi Sensor.....	57
4.8.2	Hasil Pengujian Skala Laboratorium .....	59
4.8.3	Hasil Pengujian di Lapangan .....	60
4.8.4	Hasil Pengujian Model LSTM .....	80
4.9	Integrasi Sistem.....	84
BAB V PENUTUP.....		86
5.1	Kesimpulan.....	86
5.2	Saran .....	87
DAFTAR PUSTAKA .....		88
LAMPIRAN.....		93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Peta Literatur .....	7
Gambar 2. 2	Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) .....	11
Gambar 2. 3	Rangking Kualitas Udara di Kota Bandung .....	14
Gambar 2. 4	Keterangan Legenda AQI.....	14
Gambar 2. 5	Arsitektur <i>Internet of Things</i> (Kamal, 2018).....	16
Gambar 2. 6	Arsitektur LSTM (Gallan, 2023).....	18
Gambar 2. 7	<i>Forget gate</i> (Colah, 2015).....	19
Gambar 2. 8	<i>Input gate</i> (Colah, 2015) .....	19
Gambar 2. 9	<i>Output gate</i> (Colah, 2015).....	21
Gambar 3. 1	Desain Penelitian.....	31
Gambar 4. 1	Informasi Data.....	37
Gambar 4. 2	<i>Dataset</i> .....	37
Gambar 4. 3	Arsitektur Sistem.....	40
Gambar 4. 4	Arsitektur Kontroler .....	42
Gambar 4. 5	Diagram Alir Sistem Pemantauan Kualitas Udara.....	43
Gambar 4. 6	Model Data.....	46
Gambar 4. 7	Purwarupa Sistem.....	49
Gambar 4. 8	Tahapan Pemodelan LSTM.....	51
Gambar 4. 9	String JSON.....	52
Gambar 4. 10	Hasil Ekstraksi Fitur.....	52
Gambar 4. 11	Hasil Pembersihan Data .....	53
Gambar 4. 12	Resampling Data .....	53
Gambar 4. 13	Pengujian Perangkat Skala Lab.....	59
Gambar 4. 14	Posisi Perangkat di Lokasi 1 .....	60
Gambar 4. 15	Hasil Pemantauan Polusi di Lokasi 1 .....	61
Gambar 4. 16	Sebaran PM1.0 di Lokasi 1 .....	61
Gambar 4. 17	Sebaran PM2.5 di Lokasi 1 .....	62
Gambar 4. 18	Sebaran PM10 di Lokasi 1 .....	63
Gambar 4. 19	Sebaran CO di Lokasi 1 .....	63
Gambar 4. 20	Posisi Perangkat di Lokasi 2 .....	65
Gambar 4. 21	Hasil Pemantauan Polusi di Lokasi 2.....	65
Gambar 4. 22	Sebaran PM1.0 di Lokasi 2 .....	66
Gambar 4. 23	Sebaran PM2.5 di Lokasi 2 .....	66
Gambar 4. 24	Sebaran PM10 di Lokasi 2 .....	67
Gambar 4. 25	Sebaran CO di Lokasi 2 .....	68
Gambar 4. 26	Posisi Perangkat di Lokasi 3 .....	69
Gambar 4. 27	Hasil Pemantauan Polusi di Lokasi 3.....	69
Gambar 4. 28	Sebaran PM1.0 di Lokasi 3 .....	70
Gambar 4. 29	Sebaran PM2.5 di Lokasi 3 .....	70
Gambar 4. 30	Sebaran PM10 di Lokasi 3 .....	71
Gambar 4. 31	Sebaran CO di Lokasi 3 .....	72



Gambar 4. 32 Perbandingan Polusi pada Hari Kerja dan Hari Libur di Lokasi 1.	76
Gambar 4. 33 Angka Konsentrasi Rata-rata Polutan di Lokasi 1 .....	77
Gambar 4. 34 Perbandingan Polusi pada Hari Kerja dan Hari Libur di Lokasi 2.	78
Gambar 4. 35 Angka Konsentrasi Rata-rata Polutan di Lokasi 2 .....	78
Gambar 4. 36 Perbandingan Polusi pada Hari Kerja dan Hari Libur di Lokasi 3.	79
Gambar 4. 37 Angka Konsentrasi Rata-rata Polutan di Lokasi 3 .....	79
Gambar 4. 38 Grafik loss Model PM2.5 .....	81
Gambar 4. 39 Nilai <i>Training</i> dan <i>Test Loss</i> .....	82
Gambar 4. 40 Grafik Prediksi PM2.5.....	82
Gambar 4. 41 Perbandingan Nilai Aktual dan Prediksi .....	83
Gambar 4. 42 Antarmuka <i>Dashboard</i> .....	85

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu .....	21
Tabel 4. 1 Hasil Kalibrasi Sensor DHT22 .....	58
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Aktual di Ketiga Lokasi.....	73
Tabel 4. 3 Rata-rata Konsentrasi Polutan untuk Ketiga Lokasi .....	74

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Izin Penelitian.....	93
Lampiran 2. Lembar Hasil Wawancara kepada DLH Kota Bandung.....	94
Lampiran 3. Lembar Hasil Wawancara kepada Warga Kota Bandung .....	98

## DAFTAR PUSTAKA

- Amane, A. P. O., Febriana, R. W., Artiyasa, M., & husain. (2023). *Pemanfaatan Dan Penerapan Internet of Things (Iot) Di Berbagai Bidang*. Retrieved from [https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=8zWqEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Pemanfaatan+Dan+Penerapan+Internet+of+Things+\(Iot\)+Di+Berbagai+Bidang&ots=gYUIesA2UR&sig=2Xfj4hOaBFS-mCzF3bNuWr7E93U&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Pemanfaatan Dan Penerapan Internet of](https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=8zWqEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Pemanfaatan+Dan+Penerapan+Internet+of+Things+(Iot)+Di+Berbagai+Bidang&ots=gYUIesA2UR&sig=2Xfj4hOaBFS-mCzF3bNuWr7E93U&redir_esc=y#v=onepage&q=Pemanfaatan Dan Penerapan Internet of)
- Badriyah, J., Fariza, A., & Harsono, T. (2022). Prediksi Curah Hujan Menggunakan Long Short Term Memory. *Jurnal Media Informatika Budidarma*, 6(3), 1297. <https://doi.org/10.30865/mib.v6i3.4008>
- Bishop, S. (2015). Air Quality Measurements Series: Particulate Matter. Retrieved from <https://www.clarity.io/blog/air-quality-measurements-series-particulate-matter>
- Colah. (2015). Understanding LSTM Networks. Retrieved from <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>
- Diskominfo. (2023). Kualitas Udara Kota Bandung di Ambang Batas Sedang. Retrieved from <https://jabarprov.go.id/berita/kualitas-udara-kota-bandung-di-ambang-batas-sedang-10128>
- Erwin, E., Datya, I. A., Nurohim, N., Sepriano, S., Waryono, W., Adhicandra, I., ... Purnawati, N. W. (2023). *PENGANTAR DAN PENERAPAN INTERNET OF THINGS: Konsep dasar & Penerapan IoT di berbagai Sektor*. Retrieved from [www.buku.sonpedia.com](http://www.buku.sonpedia.com)
- Gallan, V. (2023). LSTM (*Long Short-Term Memory*). Retrieved from <https://medium.com/bina-nusantara-it-division/lstm-long-short-term-memory-d29779e2ebf8>
- Geneva: World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines. *Particulate Matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur*

*Dioxide and Carbon Monoxide*, 1–360.

- Gokul, T., Kumar, K. R., Prema, P., Arun, A., Balaji, P., & Faggio, C. (2023). Particulate pollution and its toxicity to fish: An overview. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - C: Toxicology and Pharmacology*, Vol. 270. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109646>
- Hasan, K. (2024). *Kualitas udara Indonesia: Memburuk pada tahun 2023 tanpa intervensi efektif dan terpicu El Niño. Bagaimana pada tahun 2024?* Retrieved from [https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2024/04/ID-CREA\\_ID-AQ-decline-in-2023-due-to-lack-of-intervention-and-El-Nino.-What-about-2024.pdf](https://energyandcleanair.org/wp/wp-content/uploads/2024/04/ID-CREA_ID-AQ-decline-in-2023-due-to-lack-of-intervention-and-El-Nino.-What-about-2024.pdf)
- Herliana, A., & Rasyid, P. M. (2016). Sistem Informasi Monitoring Pengembangan Software Pada Tahap. *Jurnal Informatika*, (1), 41–50.
- Heryana, N., Putro, A. N. S., Erliyani, I., Martono, Dewi, E. N. F., Supriadi, A., ... Dwi, R. (2023). *Prinsip Sistem Operasi*.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long Short Term Memory. *Neural Computation*, 9(8).
- Ikhwan Prayoga, Dedi Triyanto, Suhardi. (2020). Sistem Monitoring Kualitas Udara Secara Realtime Dengan Peringatan Bahaya Kualitas Udara Tidak Sehat Menggunakan Push Notification. *Coding Jurnal Komputer Dan Aplikasi*, 8(2), 9–19. <https://doi.org/10.26418/coding.v8i2.41539>
- Kamal, R. (2018). Internet of Things: Architecture and Design Principles. In *NICE Journal of Business* (Vol. 13). Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=132818904&site=ehost-live>
- Khumaidi, A., Raafi'udin, R., & Solihin, I. P. (2020). Pengujian Algoritma *Long Short-Term Memory* untuk Prediksi Kualitas Udara dan Suhu Kota Bandung. *Jurnal Telematika*, 15(1), 13–18.
- Krishan, M., Jha, S., Das, J. et al. (2019). Air quality modelling using *Long Short-Term Memory* (LSTM) over NCT-Delhi, India. *Air Qual Atmos Health*, 12,

899–908.

- Kristiana, L., & Miyanto, D. (2023). Penambahan Parameter PM2.5 dalam Prediksi Kualitas Udara : Long Short Term Memory. *Multimedia Artificial Intelligent Networking Database (MIND)*, 8(2), 188–202.
- Kusnandar, M. (2020). Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020. *Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)*, 1–16.
- Li, Z., Zhang, Y., & Wang, Y. (2023). Prediction and Early Warning of Air Quality based on the LSTM-ARIMA Model. *Frontiers in Sustainable Development*, 3(11), 29–38. <https://doi.org/10.54691/fsd.v3i11.5722>
- Molina, L. T., & Gurjar, B. R. (2010). Regional and global environmental issues of air pollution. In *Air Pollution: Health and Environmental Impacts*. <https://doi.org/10.1201/EBK1439809624>
- Montalvo, L., Fosca, D., Paredes, D., Abarca, M., Saito, C., & Villanueva, E. (2022). An Air Quality Monitoring and Forecasting System for Lima City With Low-Cost Sensors and Artificial Intelligence Models. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4. <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.849762>
- Novirsa, R., & Achmadi, U. F. (2012). Analisis Risiko Paparan PM2,5 di Udara Ambien Siang Hari terhadap Masyarakat di Kawasan Industri Semen. *Kesmas: National Public Health Journal*, 7(4), 173. <https://doi.org/10.21109/kesmas.v7i4.52>
- Pinaria, P. (2023). Polusi Udara Penyebab Kematian Tertinggi ke-5 di Indonesia. Retrieved from <https://www.medcom.id/gaya/fitness-health/yKXEdB0N-polusi-udara-penyebab-kematian-tertinggi-ke-5-di-indonesia>
- Putra, R. N. S., Wardhana, I. wisnu, & Sutrisno, E. (2017). Analisis Dampak Kegiatan Car Free Day Terhadap Kualitas Udara Karbon Monoksida (CO) Di Sekitar Area Simpang Lima Menggunakan Program Caline4 Dan Surfer Studi Kasus: Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1), 1–11. Retrieved from <https://media.neliti.com/media/publications/192188-ID-analisis-dampak-kualitas-udara-karbon-mo.pdf>

- Rahmat, A., Asyari, A., & Puteri, H. E. (2020). Pengaruh hedonisme dan religiusitas terhadap perilaku konsumtif mahasiswa. *EKONOMIKA SYARIAH: Journal of Economic Studies*, 4(1), 39–54.
- Rumagit, A. M., Rumampuk, G. C., Poekoel, V. C., Rumagit, A. M., Elektro, J. T., Sam, U., ... Bahu, J. K. (2018). *Perancangan+Sistem+Monitoring+Kualitas+Udara+Dalam+Ruangan+Berbasis+Internet+of+Things*. 1–8.
- Sihotang, S. R., & Assomadi, A. F. (2010). *Pemetaan distribusi konsentrasi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dari kontribusi kendaraan bermotor di kampus ITS Surabaya*. ITS Surabaya, Surabaya.
- Song, X., Liu, Y., Xue, L., Wang, J., Zhang, J., Wang, J., ... Cheng, Z. (2020). Time-series well performance prediction based on *Long Short-Term Memory* (LSTM) neural network model. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 186(November 2019), 106682. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106682>
- Stern, A. C. (1977). *Air Pollution: The effects of air pollution*. Elsevier.
- Suryantoro, H., & Kusriyanto, M. (2023). *Sistem Monitoring Partikel (PM<sub>2.5</sub>) Air Purifier untuk Mengetahui Kualitas Udara Berbasis Sensor PMS5003 dan Arduino*. 4887, 88–96.
- Tahsiin, F., Anggraeni, L., Chandra, I., Salam, R. A., & Bethaningtyas, H. (2020). Analysis of Indoor Air Quality Based on Low-Cost Sensors. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(6), 2627–2633. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.6.12989>
- Tran, H. D., Huang, H. Y., Yu, J. Y., & Wang, S. H. (2023). Forecasting hourly PM<sub>2.5</sub> concentration with an optimized LSTM model. *Atmospheric Environment*, 315. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120161>
- Tri Cahyono. (2017). *Penyehatan Udara*. Penerbit Andi.
- Wang, C., Bingchun Liu, J. C., & Jiali Chen, X. Y. (2023). Air Quality Index Prediction Based on a *Long Short-Term Memory* Artificial Neural Network

Model. 電腦學刊, 34(2), 069–079.  
<https://doi.org/10.53106/199115992023043402006>

Zhang, C., He, Y., Du, B., Yuan, L., Li, B., & Jiang, S. (2020). Transformer fault diagnosis method using IoT based monitoring system and ensemble machine learning. *Future Generation Computer Systems*, 108, 533–545.  
<https://doi.org/10.1016/j.future.2020.03.008>