

Implementasi Cloud Computing Pada Prediksi Tingkat Kualitas Udara Berbasis Internet Of Things

Implementation Of Cloud Computing in Air Quality Level Prediction Based On The Internet Of Things

Satya Rivangga¹, Rosita Yanuarti^{*2}, Agung Nilogiri³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: ¹satyarivangga@gmail.com, ²rosita.yanuarti@unmuhjember.ac.id, ³agungnilogiri@unmuhjember.ac.id

^{*}Penulis Koresponden

Received: 11 Juni 2024

Accepted: 31 Juli 2024

Published: 01 Agustus 2024



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
Copyright (c) 2024 JUSTINDO

ABSTRAK

Jumlah unit kendaraan bermotor di Kabupaten Jember selalu terjadi peningkatan selama tahun 2018 hingga 2020 yang dapat membuat kualitas udara memburuk sehingga dapat mengganggu kesehatan masyarakat saat beraktivitas pada ruang publik terbuka. Permasalahan yang terjadi adalah Kabupaten Jember masih belum memiliki alat pemantau kualitas udara di tempat-tempat tersebut sehingga masyarakat tidak tahu kualitas udara saat di tempat tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk membuat perangkat *Internet of Things (IoT)* yang dapat mengukur polutan udara (CO, PM10, PM2.5) lalu menampilkan kualitas udara berdasarkan perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) pada ruang publik terbuka tersebut melalui panel P5 dan perangkat tersebut dapat terintegrasi dengan layanan *cloud computing* supaya data sensor dapat tersimpan dan diolah untuk menghasilkan prediksi nilai ISPU polutan udara. Auto Machine Learning (AutoML) memungkinkan pengembang membuat model *Machine Learning* tanpa perlu membuat kode program. Penelitian ini menggunakan *Auto Machine Learning (AutoML)* dari Vertex AI milik *Google Cloud Platform* untuk membuat model *forecasting*. Model *forecasting* digunakan untuk memprediksi nilai ISPU polutan udara pada pukul 07:00:00 – 07:30:00. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu pengujian model *forecasting* yang dilakukan sebanyak dua kali gagal memberikan *output forecasting* dengan menggunakan dataset polutan udara yang diambil pada 20 Desember 2023 pukul 06:00:00 - 08:00:00. Sedangkan pada implementasi sistem perangkat *IoT* dapat menghitung nilai ISPU dan kategori ISPU berdasarkan konsentrasi nilai polutan dan data tersebut dapat tersimpan di *Google Cloud Storage* serta data tersebut dapat di tampilkan di panel P5. Selain itu diperoleh informasi berdasarkan data polutan udara bahwa semakin bertambahnya waktu maka nilai polutan akan semakin berkurang.

Kata kunci: *Internet of Things, polusi udara, cloud computing, prediksi polutan udara.*

ABSTRACT

The number of motorized vehicle units in Jember Regency has always increased from 2018 to 2020, which is feared to worsen air quality so that it can interfere with public health when doing activities in open public spaces. The problem that occurs is that Jember Regency still does not have an air quality monitoring device in these places so that people do not know the air quality while in that place. This research aims to create an Internet Of Things (IoT) device that can measure air pollutants (CO, PM10, PM2.5) and then display air quality based on the calculation of the Air Pollutant Standard Index (ISPU) in the open public space through the P5 panel and the device can be integrated with cloud computing services so that sensor data can be stored and processed to produce predictions of air pollutant ISPU values. AutoML allows developers to create Machine Learning models without the need to create program code. This research uses Auto Machine Learning (AutoML) from Google Cloud Platform's Vertex AI to create a forecasting model. The forecasting model is used to predict the ISPU value of air pollutants at 07:00:00 - 07:30:00. Based on the research that has been done, the forecasting model testing carried out twice failed to provide forecasting output using the air pollutant dataset

taken on December 20, 2023 at 06:00:00 - 08:00:00. While the implementation of the IoT device system can calculate the ISPU value and ISPU category based on the concentration of pollutant values and the data can be stored in Google Cloud Storage and the data can be displayed on the P5 panel. In addition, information is obtained based on air pollutant data that the increasing time the value of pollutants will decrease.

Keywords: Internet of Things (IoT), air pollution, cloud computing, air pollutant prediction

1. Pendahuluan

Polutan udara yang menjadi perhatian utama kesehatan masyarakat termasuk partikel (PM_{2.5} dan PM₁₀), Sulfur Dioksida, Karbon Monoksida, Ozon, dan Nitrogen Dioksida (WHO, 2021). Polutan PM₁₀ mempunyai hubungan bermakna dengan Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA) (Yanti, 2023). PM_{2.5} dan PM₁₀ terbukti mengakibatkan penyakit pada jantung, pernapasan, kanker, diabetes, dan mempengaruhi berat badan serta kelahiran anak sehingga berakibat merusak produktivitas dan kehidupan seumur hidup (Kass, 2020). Karbon Monoksida (CO) memiliki karakter tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berwarna. Senyawa Karbon Monoksida akan sangat berbahaya saat dihirup manusia karena gas CO akan menggantikan posisi Oksigen yang berkaitan dengan haemoglobin dalam darah (Zidni, 2022). Sehingga senyawa Karbon Monoksida juga dapat meningkatkan tekanan darah dalam tubuh manusia (Khairina, 2019).

Automated Machine Learning (AutoML) telah menjadi topik penelitian yang sangat penting dengan aplikasi teknik *Machine Learning* yang luas. Tujuan dari AutoML adalah untuk memungkinkan orang-orang dengan latar belakang pengetahuan *Machine Learning* yang terbatas untuk menggunakan model *Machine Learning* dengan mudah. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk pemilihan model otomatis, penyetulan hyperparameter otomatis, dan lain-lain. Pada konteks *deep learning*, *neural architecture search* (NAS), yang bertujuan untuk mencari arsitektur jaringan syaraf tiruan terbaik untuk tugas pembelajaran dan dataset yang diberikan, telah menjadi alat komputasi yang efektif dalam AutoML (Jin, Song and Hu, 2019).

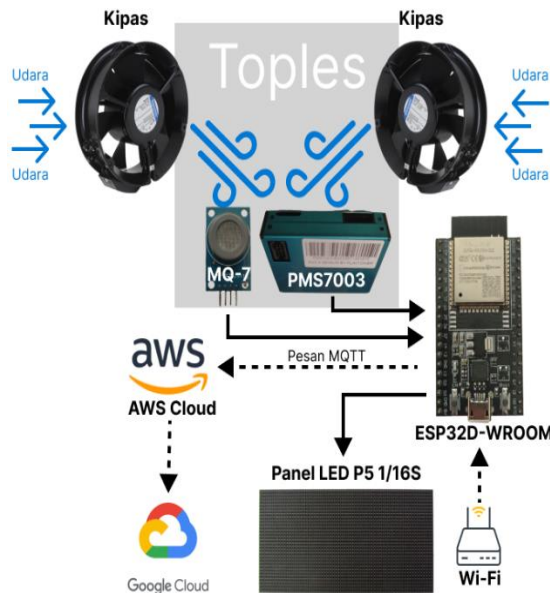
Permasalahan yang terjadi saat ini di kota Jember adalah belum tersedianya sistem pemantauan kualitas udara di beberapa fasilitas ruang publik khususnya lingkungan luar ruangan yang sering digunakan untuk berolahraga oleh masyarakat. Sistem pemantauan kualitas udara dianggap penting karena banyak masyarakat menganggap bahwa udara yang terhirup oleh hidung telah bersih dan menyehatkan (Virdaus & Ihsanto, 2021) dan masyarakat umumnya menilai kualitas udara dengan cara menerka-nerka (Batubara, 2022). Berdasarkan tiga pernyataan tersebut dikhawatirkan jika tidak ada alat pemantauan kualitas udara di tempat-tempat tersebut, masyarakat disana akan menghirup udara kotor saat kualitas udara wilayah tersebut memburuk.

Cloud computing adalah model penyampaian layanan komputasi yang memungkinkan akses sesuai permintaan ke sumber daya komputasi seperti server, penyimpanan, basis data, jaringan, dan perangkat lunak melalui Internet (Mell, P., and Grance, T., 2011). Internet adalah *Internet of Things* merupakan jaringan perangkat fisik yang menggabungkan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lain untuk menghubungkan dan bertukar data dengan perangkat dan sistem lain melalui Internet (Gubbi, J., et al, 2013). Pengertian Internet adalah jaringan komunikasi global yang menghubungkan seluruh komputer di seluruh dunia, meskipun memiliki sistem operasi atau mesin yang berbeda (Rahman, et al., 2023).

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian ini akan melakukan pembuatan alat pemantauan kualitas udara dengan memanfaatkan teknologi *cloud computing* dan berbasis IoT. Implementasi alat pemantauan kualitas udara diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan bahaya dari polusi udara yang tinggi. Sehingga dapat meminimalisir masyarakat yang terpapar oleh polusi udara.

2. Metode Penelitian

2.1. Gambaran Umum Sistem

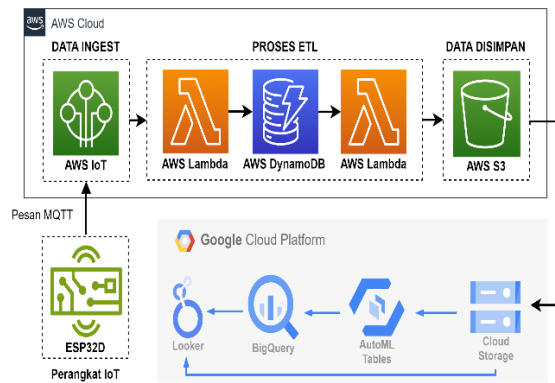


Gambar 1. Gambaran Umum Sistem

Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem dengan dua bagian yang berbeda yaitu sistem pada *cloud computing* dan *embedded system*. Cara kerja gambaran sistem secara umum pada gambar 1 adalah dua buah *fan* akan menghirup udara masuk dalam toples yang terdapat sensor MQ-7 dan *Plantower* PMS7003. Selanjutnya Sensor MQ-7 akan mengirim nilai Karbon Monoksida dan PMS7003 akan mengirim nilai PM2.5 dan PM10 ke mikrokontroler ESP32D-WROOM. Mikrokontroler akan menghitung ketiga nilai polutan tersebut menggunakan rumus ISPU. Setelah berhasil menemukan nilai ISPU, mikrokontroler akan memberikan label kategori polutan udara berdasarkan nilai ISPU dari masing-masing ketiga polutan udara. Nilai dan kategori ISPU akan menjadi output di panel LED P5 1/16s. Selanjutnya mikrokontroler akan mengirim data melalui pesan MQTT ke layanan *cloud computing* AWS dan data yang tersimpan di AWS akan diteruskan ke GCP supaya dapat dilakukan prediksi *forecasting* nilai ISPU dari masing-masing polutan.

2.2. Arsitektur Cloud Computing

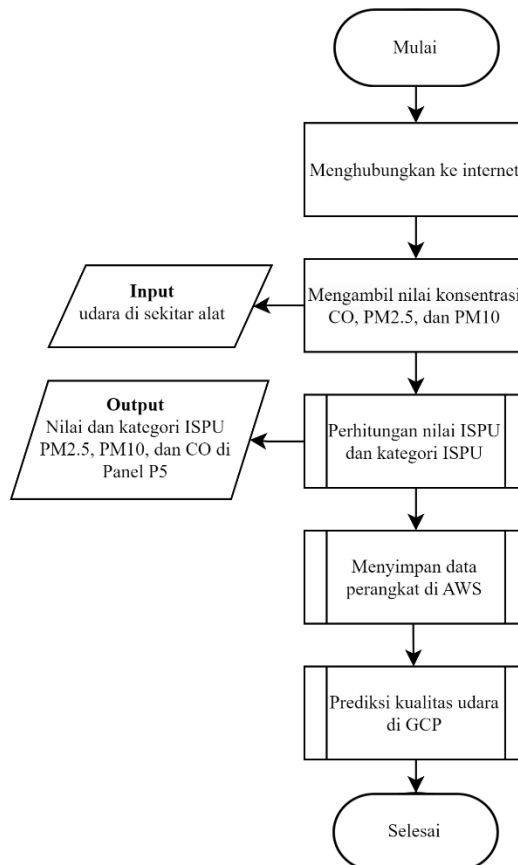
Perangkat IoT akan mengirim pesan dengan protokol MQTT ke AWS IoT. Selanjutnya AWS Lambda akan secara otomatis menyimpan pesan tersebut ke DynamoDB berformat NoSQL. Supaya data dapat tersimpan dalam bucket AWS S3 dibutuhkan program untuk mengkonversi tabel NoSQL ke *file* baru berformat tabular di AWS Lambda. *File* tabular dalam *bucket* AWS S3 dikirim ke GCP *Cloud Storage*. Google Vertex AI akan mengambil *file* pada *bucket* GCP *Cloud Storage* untuk digunakan pelatihan model. Sebelum *file* tabular tersebut digunakan untuk pembuatan model *forecasting*, *file* tabular dibagi menjadi dua yaitu untuk data latih menggunakan data pada 20 Desember 2023 pukul 06:00:00 – 06:59:59. Sedangkan *data testing* menggunakan data pada 20 Desember 2023 pukul 07:00:00 – 08:00:00. Setelah model *forecasting* berhasil dibuat, model tersebut akan diuji dengan data testing untuk menghasilkan *forecasting* pada rentang waktu tersebut. Selanjutnya Membuat visualisasi data untuk membandingkan hasil *forecasting* dan grafik nilai polutan pada pukul 06:00:00 – 08:00:00 untuk mendapatkan informasi lebih lanjut. Semua penjelasan tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Layanan *Cloud Computing*

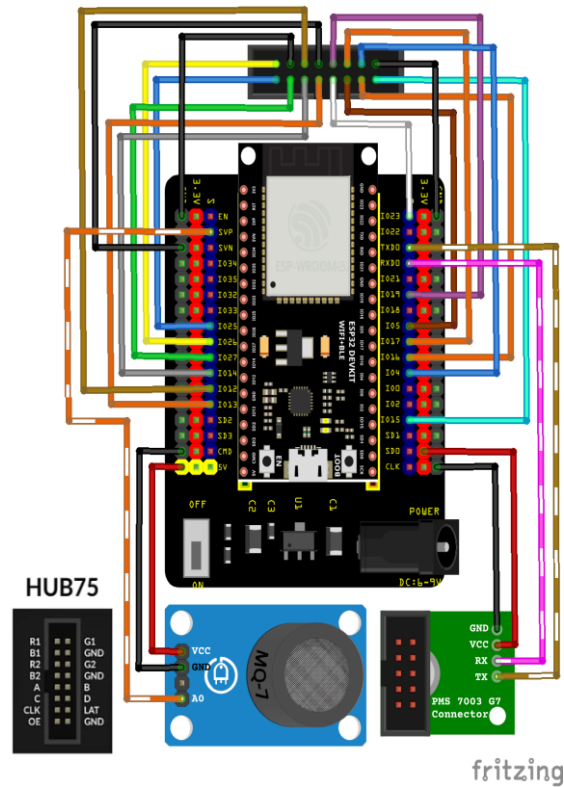
2.3. Flowchart Sistem

Pada gambar 3, proses dimulai dengan menghubungkan *microcontroller* ke internet melalui jaringan *Wi-Fi*, setelah berhasil terhubung ke internet, sensor *Plantower PMS7003* dan *MQ-7* akan mengambil nilai konsentrasi polutan Karbon Monoksida, *PM2.5*, dan *PM10* dari udara yang terhisap masuk oleh kipas ke dalam wadah alat. Selanjutnya *ESP32* akan menghitung dan mengeluarkan output nilai dan kategori *ISPU PM2.5*, *PM10*, dan *CO* di Panel *P5* dan dilanjutkan mengirim data *timestamp*, konsentrasi *CO*, konsentrasi *PM10*, konsentrasi *PM2.5*, *ISPU CO*, *ISPU PM10*, *ISPU PM2.5*, kategori *ISPU CO*, kategori *ISPU PM10*, dan kategori *ISPU PM2.5* dalam bentuk pesan *MQTT* ke *cloud provider AWS* supaya data dapat disimpan menjadi dataset tabular dalam *file* berformat *.csv*. Lalu dataset tersebut dikirim ke *cloud provider GCP* supaya dapat dilakukan prediksi *forecasting* nilai polutan udara *PM10*, *PM2.5*, dan *CO*.



Gambar 3. Flowchart Sistem

2.4. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 4. Rangkaian Perangkat Pemantauan Polutan Udara

Pada Gambar 4, rangkaian alat menggunakan ESP32D 38 pin, ESP32 Shield V4 untuk menghubungkan mikrokontroler ke sensor & HUB75, Hub75 terhubung ke panel LED P5 1/16S, *Plantower PMS7003* untuk mengukur polutan PM2.5 & PM10, MQ-7 untuk mengukur konsentrasi Karbon Monoksida, *Powerbank 5V 2A* yang terhubung ke ESP32 Shield V4, dan *Powerbank 5V 3A* yang terhubung ke 3 buah kipas dan panel LED P5 untuk menampilkan *output* nilai ISPU dan kategori ISPU.

2.5. Dataset Forecasting

Penelitian ini akan menggunakan dataset polutan udara CO, PM2.5, dan PM10 pada pukul 06:00 – 08:00 WIB tanggal 20 Desember 2023. Tabel 1 merupakan detail dataset yang akan digunakan untuk pemodelan *forecasting* di Vertex AI AutoML.

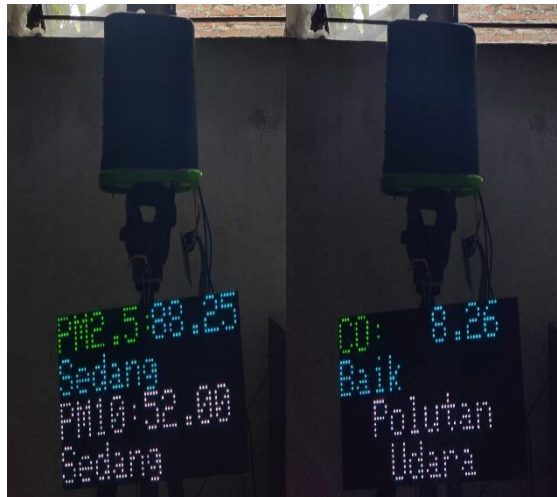
Tabel 1. Detail Dataset

No	Nama Kolom	Tipe Data
1	Jam	<i>Timestamp</i>
2	Jenis Polutan	<i>String</i>
3	Nilai ISPU	<i>Float</i>

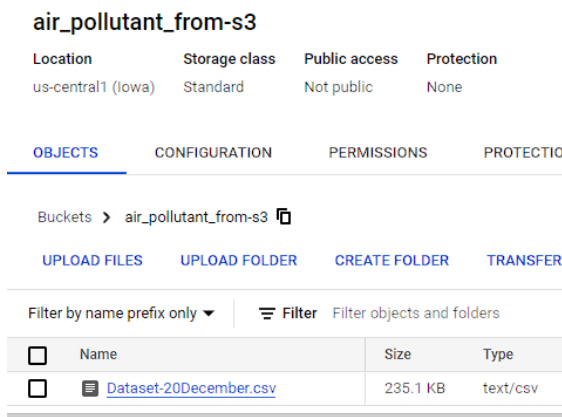
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Sistem

Komponen perangkat diletakkan dalam toples plastik yang dibalut dengan isolasi hitam karena sensor PMS7003 tidak dapat mendeteksi PM10 dan PM2.5 dalam keadaan terang. Pada Gambar 5 perangkat IoT diletakkan pada ketinggian 159 cm sesuai dengan tinggi badan rata-rata orang Indonesia (Rahmadhani, 2019). Perangkat IoT terhubung dengan internet supaya dapat mengirim data sensor ke AWS IoT hingga berhasil tersimpan di *bucket* dalam *Google Cloud Storage*.



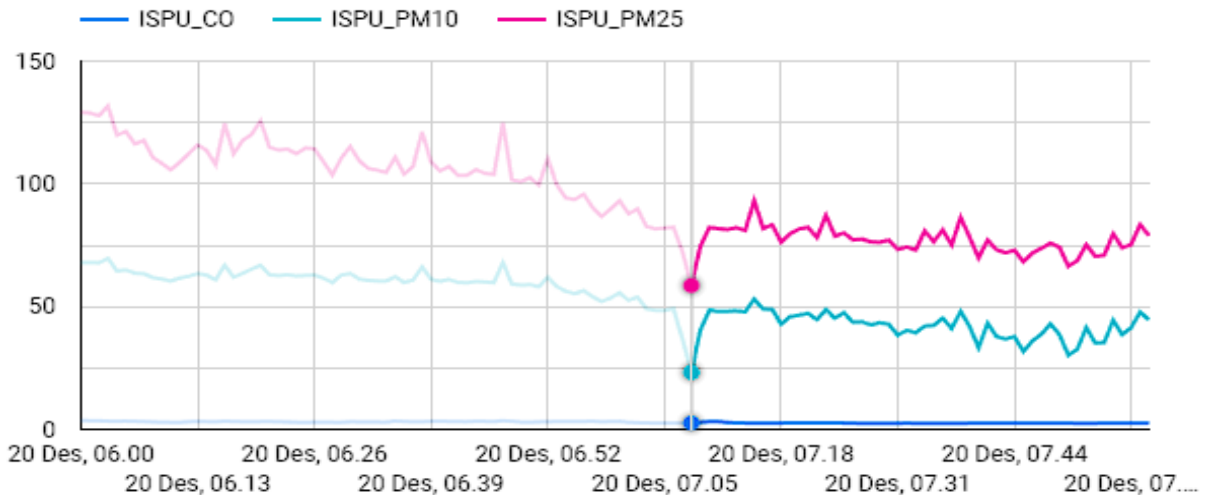
Gambar 5. Alat Menampilkan Nilai dan Kategori ISPU Polutan Udara



Gambar 6. Dataset Berhasil Tersimpan di Google Cloud Storage

3.2. Visualisasi Data Polutan

Waktu terbaik di antara 06:00:00 – 08:00:00 untuk berolahraga di taman kota adalah pukul 07:08 hingga 07:59 karena rentang waktu tersebut nilai ISPU terbesar adalah PM2.5 yaitu 93.24 (kategori sedang) dan nilai ISPU terkecil adalah polutan CO yaitu 2.4 (kategori baik). Hal tersebut dapat dilihat pada grafik Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat juga bahwa polutan PM10 dan PM2.5 memiliki pola grafik yang hampir sama serta memiliki nilai ISPU lebih tinggi dibandingkan dengan nilai ISPU polutan CO. Selain itu semakin bertambah waktu, nilai polutan semakin menurun.



Gambar 7. Diagram garis timeseries

3.3. Pengujian Model AutoML

Pelatihan model AutoML *forecasting* dibuat untuk memprediksi nilai ISPU polutan PM10, PM2.5, dan CO berdasarkan waktu per menit. Pelatihan model AutoML *forecasting* dilakukan menggunakan dataset tabular tanggal 20 Desember 2023 pukul 06:00:00 – 06:59:59 dengan pembagian 80% *data training*, 10% *data validation*, dan 10% *data testing*. Sedangkan dataset tabular tanggal 20 Desember 2023 pukul 07:00:00 – 08:00:00 digunakan untuk menguji model yang telah dibuat. Dataset yang digunakan untuk pelatihan model AutoML tidak memiliki *missing value*. Konfigurasi tabel dataset pada model AutoML *forecasting* dapat dilihat dalam Tabel 2 dan Tabel 3 merupakan potongan dataset yang digunakan untuk *data training*.

Tabel 2. Konfigurasi Dataset Untuk *Forecasting*

Nama Kolom	Label	Jenis fitur	Tersedia di <i>forecast</i>
Jenis_ polutan	<i>Series identifier</i>	-	-
Nilai_ISPU	<i>Target</i>	<i>Covariate</i>	Tidak
Jam	<i>Timestamp</i>	<i>Covariate</i>	Ya

Tabel 3. Sampel Dataset Untuk *Data Training*

Jam	Jenis_ polutan	Nilai_ ISPU	rolling_ window
06:00:02	ISPU_CO	3.76	TRUE
06:00:02	ISPU_PM10	70.00	TRUE
06:00:02	ISPU_PM25	133.26	TRUE
06:00:05	ISPU_CO	3.68	TRUE
06:00:05	ISPU_PM10	71.00	TRUE

Tabel 4. Konfigurasi Model AutoML *Forecasting*

Konfigurasi	Input
Kolom target	Nilai_ISPU
<i>Series identifier column</i>	Jenis_ polutan
<i>Timestamp column</i>	Jam
<i>Data granularity</i>	1 menit
<i>Context Window</i>	60 menit
<i>Forecast horizon ends</i>	30 menit
<i>Window selection column</i>	rolling_ window
<i>Data split</i>	<i>Chronologically assigned</i>
Algoritma	AutoML
<i>Objective</i>	<i>Forecasting</i>
<i>Source</i>	<i>AutoML Training</i>
Dioptimalkan untuk	RMSE

Kolom *rolling_ window* pada Tabel 2 digunakan untuk menandai baris dataset yang digunakan untuk *data training* model AutoML *forecasting*. Pada Tabel 4 hal yang harus diperhatikan dalam konfigurasi model adalah *data granularity* untuk menentukan interval waktu yang model dapat prediksi, *context window* untuk menetapkan rentang waktu ke belakang model selama pelatihan, dan *forecast horizon ends* untuk menentukan seberapa jauh model akan memperkirakan nilai target untuk setiap baris data prediksi di masa mendatang. Berdasarkan konfigurasi pada Tabel 4 akan membuat model

forecasting 30 menit mendatang dengan data training 60 menit kebelakang dengan hasil prediksi per satu menit. Sehingga data pukul 06:00:00 - 06:59:59 diharapkan dapat menghasilkan prediksi di masa depan pada rentang waktu 07:00:00 – 07:30:00. Metode RMSE digunakan untuk mengetahui selisih nilai aktual dan nilai prediksi dengan persamaan (1).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\text{Prediksi}_i - \text{Aktual}_i)^2}{N}} \quad (1)$$

Keterangan:

Prediksi_i = Nilai prediksi untuk observasi ke-_i

Aktual_i = Nilai aktual untuk observasi ke-_i

N = Jumlah total observasi

Pelatihan model AutoML forecasting untuk memprediksi nilai ISPU dengan dataset tabular tanggal 20 Desember 2023 pukul 06:00:00 – 06:59:59 membutuhkan waktu 107 menit. Output yang diberikan adalah model AutoML mampu memprediksi nilai polutan per detik dan nilai RMSE sebesar 3.68. Hasil forecasting dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Forecasting dengan Dataset 20 Desember 2023 pukul 06:00:00 – 06:59:59

Jenis_ polutan	predicted_ Nilai_ISPU	predicted_on_Jam
ISPU_CO	3.056215	06:54:36
ISPU_CO	3.066606	06:54:36
ISPU_PM25	98.652855	06:54:36
ISPU_PM10	57.758022	06:54:36
ISPU_CO	3.068042	06:54:36
...
ISPU_PM10	57.699276	06:59:55
ISPU_PM25	93.17.705	06:59:55
ISPU_PM25	94.143883	06:59:58
ISPU_PM10	57.844032	06:59:58
ISPU_CO	3.278649	06:59:58

Selanjutnya model AutoML forecasting diujikan ke dataset baru yaitu dataset tabular tanggal 20 Desember 2023 pukul 07:00:00 – 07:30:00 seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Sampel Data Testing Percobaan Pertama

Jam	Jenis_polutan	Nilai_ISPU
07:00:01	ISPU_CO	null
07:00:01	ISPU_PM10	null
07:00:01	ISPU_PM25	null
07:00:02	ISPU_CO	null
07:00:02	ISPU_PM10	null
07:00:02	ISPU_PM25	null
07:00:05	ISPU_CO	null
07:00:05	ISPU_PM10	null
07:00:05	ISPU_PM25	null

Waktu yang dibutuhkan dalam membuat *forecasting* dari data testing yaitu 17 menit 28 detik dengan hasil seperti di tabel 7. Model AutoML *forecasting* tidak dapat memberikan prediksi per satu menit namun hanya mampu memprediksi pada waktu 07:00:01 saja untuk masing-masing polutan.

Tabel 7. Sampel Hasil *Forecasting* Dari *Data Testing* Percobaan Pertama

Jenis_ polutan	predicted_on_Jam	predicted_ Nilai_ISPU
ISPU_ PM25	07:00:01	63.501034
ISPU_ PM25	07:00:01	63.304226
ISPU_ PM25	07:00:01	63.238808
ISPU_ PM25	07:00:01	63.125824
ISPU_ PM25	07:00:01	62.929836
...
ISPU_ CO	07:00:01	62.367134
ISPU_ CO	07:00:01	62.436459
ISPU_ CO	07:00:01	62.392517
ISPU_ CO	07:00:01	62.567188
ISPU_ CO	07:00:01	62.677265

Selanjutnya percobaan *forecasting* yang kedua menggunakan *data testing* yang sama namun dengan format waktu yang berbeda seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Sampel *Data Testing* Untuk *Forecasting* Percobaan Kedua

Jam	Jenis_ polutan	Nilai_ ISPU
07:00	ISPU_CO	<i>null</i>
07:00	ISPU_PM10	<i>null</i>
07:00	ISPU_PM25	<i>null</i>
07:01	ISPU_CO	<i>null</i>
07:01	ISPU_PM10	<i>null</i>
...
07:29	ISPU_PM10	<i>null</i>
07:29	ISPU_PM25	<i>null</i>
07:30	ISPU_CO	<i>null</i>
07:30	ISPU_PM10	<i>null</i>
07:30	ISPU_PM25	<i>null</i>

Waktu yang diperlukan untuk melakukan *forecasting* pada percobaan kedua yaitu 18 menit 23 detik. Pada percobaan kedua, model AutoML *forecasting* tidak dapat memberikan hasil perkiraan Nilai_ ISPU karena format waktu harus H:%M:%S sedangkan format waktu pada kolom Jam pada Tabel 8 adalah H:%M.

Tabel 9. Sampel Hasil *Forecasting Data Testing* Percobaan Kedua

Jenis_ polutan	errors_ Nilai_ ISPU	predicted_on_ Jam
ISPU_ CO	<i>Failed to parse Jam column using the given time format: %H:%M:%S.</i>	<i>null</i>
ISPU_ PM25	<i>Failed to parse Jam column using the given time format: %H:%M:%S.</i>	<i>null</i>
ISPU_ PM10	<i>Failed to parse Jam column using the given time format: %H:%M:%S.</i>	<i>null</i>

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu pengujian model *forecasting* yang dilakukan sebanyak dua kali gagal memberikan *output forecasting* dengan menggunakan *dataset* polutan udara yang diambil pada 20 Desember 2023 pukul 06:00:00 - 08:00:00. Sedangkan pada implementasi sistem perangkat IoT dapat menghitung nilai ISPU dan kategori ISPU berdasarkan konsentrasi nilai polutan dan data tersebut dapat tersimpan di *Google Cloud Storage* serta data tersebut dapat di tampilkan di panel P5. Selain itu diperoleh informasi berdasarkan data polutan udara bahwa semakin bertambahnya waktu maka nilai polutan akan semakin berkurang.

Daftar Pustaka

- Batubara, J. (2022). Perancangan Alat Monitoring Kualitas Udara dengan menggunakan Sensor MQ135 berbasis Mikro Kontroller Arduino Uno. In Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara: Vol. September (Issue 03).
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Jin, H., Song, Q. and Hu, X. (2019) 'Auto-keras: An efficient neural architecture search system', *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 1946–1956. Available at: <https://doi.org/10.1145/3292500.3330648>
- Khairina, M. (2019). Gambaran Kadar CO Udara, CoHB Dan Tekanan Darah Pekerja Basement Pusat Perbelanjaan X Kota Malang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(2)
- Kass, D. (2020). Menuju Udara Bersih Jakarta. Singapore: Vital Strategies.
- Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology.
- Rahmadhani, T.N., TUALEKA, A.R., RAHMAWATI, P., RUSSENG, S.S., WAHYU, A. AND SINGGA, S., 2019. Determination of Mercury (Hg) Risk Level (RO) with Exposure through Fish and Drinking Water Consumption in Bulawa Sub-district, Bone Bolango District, Gorontalo Province, Indonesia. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 10(10), pp.2703-2708.
- Rahman, M. et al., Optimalisasi Jangkauan Sinyal Wireless Fidelity Menggunakan Mi WiFi Range Extender Pro, *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 164–171, 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i1.4630.
- Virdaus, Muchamad S. S., and Eko Ihsanto. "Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Kualitas Udara Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Wemos." *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 1, Jan. 2021, pp. 22-28.
- World Health Organization, 2021. Air pollution. [Online] available at: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (Diakses: 14 Agustus 2023).
- Yanti, M. (2023). Hubungan Kadar Debu (PM10) Dengan Kejadian Ispa Pada Industri Mebel Kayu di Kelurahan Sungai Sapih Kecamatan Kuranji Kota Padang. *Jurnal Media Ilmu*, 1(2), hlm. 126-131. Tereada pada: <https://jurnal.umsb.ac.id/index.php/mediailmu/article/view/4485> (Diakses: 31 Desember 2023)
- Zidni, M., Ichsan, M. H. H. dan Akbar, S. R. (2022) "Sistem Monitoring Kesehatan Udara menggunakan Sensor MQ7 dan MQ135 terhadap Berbagai Gas Berbahaya pada Mobil", *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(9), hlm. 4322–4328. Tersedia pada: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/11566> (Diakses: 31 Desember 2023).