



UNIVERSITAS INDONESIA

**SISTEM PEMANTAUAN KONSENTRASI GAS KARBON DIOKSIDA
DENGAN SENSOR *NON-DISPERSIVE INFRARED* DAN
DETEKSI DATA PENCILAN DENGAN *LOCAL OUTLIERS FACTOR***

TESIS

MOCH TOAT

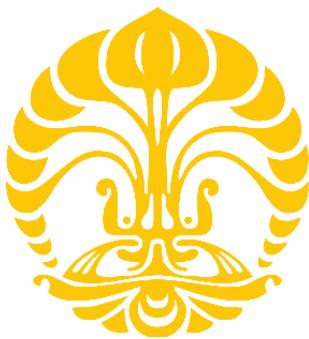
2006543144

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI ILMU FISIKA

DEPOK

2022



UNIVERSITAS INDONESIA

**SISTEM PEMANTAUAN KONSENTRASI GAS KARBON DIOKSIDA
DENGAN SENSOR *NON-DISPERSIVE INFRARED* DAN
DETEKSI DATA PENCILAN DENGAN *LOCAL OUTLIERS FACTOR***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

MOCH TOAT

2006543144

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI ILMU FISIKA**

DEPOK

2022

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Moch Toat

NPM : 2006543144

Tanda Tangan :

Tanggal : 24 Juni 2022

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Moch Toat

Program Studi : Ilmu Fisika

Judul Sistem Pemantauan Konsentrasi Gas Karbon Dioksida Dengan Sensor *Non-Dispersive Infrared* dan Deteksi Data Penculan dengan *Local Outliers Factor*

Pembimbing : Dr. Santoso Soekirno

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Pengaji dan diterima sebagai bagian prasyarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

Pembimbing : Dr. Santoso Soekirno ()

Pengaji I : Dr. Prawito Prajitno ()

Pengaji II : Dr. rer.nat Martarizal ()

Pengaji III : Dr. Suko Prayitno Adi, M.Si ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 07 Juli 2022

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, berkah, hidayah, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “Sistem Pemantauan Konsentrasi Gas Karbon Dioksida Dengan Sensor *Non-Dispersive Infrared* dan Deteksi Data Penciran dengan *Local Outliers Factor*” guna memenuhi syarat kelulusan dari Program Studi S2 Ilmu Fisika Universitas Indonesia. Penghargaan dan rasa terima kasih yang tulus penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Dr. Suko Prayitno Adi, M.Si. selaku Deputi Bidang Geofisika Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang selalu memotivasi penulis dalam menjalankan studinya.
2. Bapak Dr. Santoso Soekirno selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan, arahan, dan masukan kepada penulis dalam penelitian ini.
3. Bapak Dr. Prawito Prayitno, dan bapak Dr. Martarizal selaku penguji proposal yang telah memberikan arahan dan masukan pada mata kuliah ini.
4. Bapak Dr. Alberth Christian Nahas, S.Si, M.Cc. dan rekan-rekan Sub Koordinator Gas Rumah Kaca, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika yang telah membantu dalam proses uji coba peralatan yang dibuat oleh penulis.
5. Orangtua, istri dan anak yang telah memberikan dukungan moral maupun materi selama masa studi penulis.
6. Rekan-rekan seperjuangan Magister Fisika Instrumentasi 2020 yang telah memberikan dukungan selama penelitian.

Penulis menyadari bahwa proposal tesis ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran, kritik, dan masukan dari semua pihak untuk kebaikan dalam penelitian mendatang.

Depok, 24 Juni 2022

Penulis

ABSTRAK

Nama : Moch Toat
Program Studi : Ilmu Fisika
Judul Sistem Pemantauan Konsentrasi Gas Karbon Dioksida Dengan Sensor *Non-Dispersive Infrared* dan Deteksi Data Pencilan dengan *Local Outliers Factor*
Pembimbing : Dr. Santoso Soekirno

Perubahan iklim merupakan tantangan utama penyebab pemanasan global yang menjadi kekhawatiran bagi kehidupan. Upaya mengurangi kenaikan suhu permukaan bumi rata-rata menjadi 1.5°C menjadi sesuatu yang harus dilakukan. Kenaikan suhu disebabkan oleh gas rumah kaca, salah satunya karbon dioksida yang sebagian besar disebabkan oleh aktifitas manusia dalam pembakaran bahan bakar fosil. Pengamatan konsentrasi gas karbon dioksida secara spasial maupun temporal. Pengamatan yang dilakukan oleh BMKG di GAW (*Global Atmosphere Watch*) berbiaya mahal. Penelitian yang akan dilakukan adalah pengembangkan sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida menggunakan *low-cost* sensor berbasis *Non-Dispersive Infrared* (NDIR). Data pengukuran diproses oleh Arduino Mega 2560 dan dikirimkan ke IoT platform Firebase realtime Database dengan modul wifi dari ESP8266. Komparasi dilakukan dengan alat Thermo 410i di BMKG. Peningkatan akurasi sistem dilakukan dengan deteksi data pencilan dengan *Local Outlier Factor* dan Savitzky-Golay *Moving Average* sehingga perlatan yang dikembangkan bisa meningkatkan akurasi rata-rata keseluruhan meningkat dari 91.2% menjadi 98.3 %.

Kata kunci: Karbon disoksida, Pemanasan Global, NDIR Sensor

ABSTRACT

Nama : Moch Toat
Program Studi : Physics Science
Judul : Monitoring System Carbon Dioxide Gas Concentration With Non-Dispersive Infrared Sensor and Outlier Data Detection with Local Outliers Factor
Pembimbing : Dr. Santoso Soekirno

Climate change is the main challenge that causes global warming which is a concern for life. Efforts to reduce the average increase in the earth's surface temperature to 1.5°C are something that must be done. The increase in temperature is caused by greenhouse gases, one of which is carbon dioxide, which is mostly caused by human activities in burning fossil fuels. Observation of carbon dioxide gas concentration spatially and temporally. Observations made by BMKG on GAW (Global Atmosphere Watch) are expensive. The research that will be carried out is developing a monitoring system for carbon dioxide gas concentrations using a low-cost sensor based on Non-Dispersive Infrared (NDIR). The measurement data is processed by Arduino Mega 2560 and sent to the IoT platform Firebase real-time Database with the wifi module from ESP8266. The comparison was made with the Thermo 410i device at BMKG. Improved system accuracy is done by detecting outliers with Local Outlier Factors and Savitzky-Golay Moving Average so that the developed equipment can increase the overall average accuracy from 91.2 % to 98.3%.

Keywords: Carbon Dioxide, Global warming, NDIR Sensor

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gas Karbon Dioksida	6
2.2 IoT (Internet of Things).....	7
2.3 Sensor Gas Karbon Dioksida	8
2.4 Suhu.....	10
2.5 Kelembaban Udara Relatif	10
2.6 LOF (Local Outliers Factor).....	11
2.7 Savitzky-Golay <i>Moving Average</i>	15
2.8 Penelitian Sebelumnya	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Perancangan Perangkat Keras	22
3.1.1 Blok Diagram Sistem	22
3.1.2 Komponen Sistem	23
3.1.3 Sensor Gas Karbon Dioksida	24
3.1.4 Sensor Suhu dan Kelembaban.....	24
3.1.5 RTC (<i>Real-time Clock</i>)	25
3.1.6 SD Card.....	25

3.2	Komponen Pemroses	26
3.3	Sistem Catu Daya	27
3.4	Perancangan Alat.....	28
3.5	Perancangan Perangkat Lunak	29
3.5.1	Flowchart Perangkat Lunak	29
3.5.2	Perancangan Realtime Database Firebase.....	31
3.5.3	Perancangan Display Pengguna	32
3.6	Peningkatan Kualitas Data	32
3.7	Metode Pengujian.....	33
3.7.1	Pengujian Alat.....	33
3.7.2	Metode Analisis Data.....	34
3.8	Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.9	Implementasi Sistem	35
3.9.1	Implementasi Sistem	35
3.9.2	Implementasi Database Dengan Firebase Realtime Database	37
3.9.3	Implementasi <i>Display</i> Dengan Firebase Hosting.....	38
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1	Pengujian Sistem	40
4.2	Pengujian Deteksi Data Pencilan.....	43
4.3	Pengujian Realtime Database Firebase	48
4.4	Pengujian Display Pengguna	49
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran	53
REFERENSI		54
LAMPIRAN		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi dari tahun 1880 sampai 2021	1
Gambar 1.2 Trend Konsentrasi Gas CO ₂ sejak Januari 2004 sampai Januari 2022 di Stasiun GAW Bukit Kototabang	2
Gambar 2.1 Susunan Molekul CO ₂	6
Gambar 2.2 Definisi IoT dalam bentuk yang sederhana.....	7
Gambar 2.3 Sebuah sensor terdiri dari beberapa transduser	8
Gambar 2.4 Prinsip Pengukuran gas dengan Non-Dispersive Infrared sensor	9
Gambar 2.5 Prinsip pengukuran kelembaban dengan prinsip kapasitif.....	11
Gambar 2.6 Proses deteksi data penciran lokal dengan LOF.....	12
Gambar 2.7 Contoh dari <i>reach-dist(q,p)</i> dan <i>reach-dist(r,p)</i> untuk $k = 4$	14
Gambar 2.8 Grafik perbandingan antara sensor NDIR LP8 dengan referensi.....	20
Gambar 3.1 Blok Diagram sistem Pemantauan Konsentrasi Gas Karbon Dioksida	22
Gambar 3.2 Sensor Gas Karbon dioksida SCD30	24
Gambar 3.3 <i>Real Time Clock</i> DS3231	25
Gambar 3.4 Modul Micro SD Card.....	25
Gambar 3.5 <i>Pin Out</i> Arduino Mega2560 dan ESP8266	26
Gambar 3.6 <i>Desain Catu Daya Sistem</i>	27
Gambar 3.7 Skema rangkaian perancangan sistem.....	28
Gambar 3.8 <i>Diagram alir sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida</i> .	30
Gambar 3.9 Tampilan awal IoT Platform Firebase.....	31
Gambar 3.10 Perancangan antarmuka pengguna dengan Virtual Studio Code	32
Gambar 3.11 Implementasi sistem dan catu daya	36
Gambar 3.12 Data disimpan dalam realtime database di Firebase	38
Gambar 3.13 Proses implementasi <i>display</i> dengan firebase <i>hosting</i>	38
Gambar 4.1 Pemasangan sistem komparasi dengan sensor standar.....	40
Gambar 4.2 (a) Grafik suhu dan kelembaban pada pengujian sistem, (b) Grafik sensor SCD30 dan sistem Thermo 410i	42
Gambar 4.3 Komparasi data konsentrasi gas CO ₂ antara SCD30 dan Thermo 410i	42

Gambar 4.4 Deteksi data penculan dengan <i>Inter Quartil Range</i> (IQR).....	43
Gambar 4.5 Deteksi data penculan dengan LOF (a). Sebelum di deteksi (b) Setelah deteksi	44
Gambar 4.6 Grafik sebelum dan sesudah dilakukan <i>Local Outliers Factor</i> dan <i>Savitzky-Golay Moving Average</i>	45
Gambar 4.7 Indikator peningkatan kualitas data.....	46
Gambar 4.8 <i>Scatter plot</i> sebelum (a) dan sesudah (b) dilakukan deteksi data penculan dan <i>moving average</i>	47
Gambar 4.9 Data dari sistem tersimpan di realtime database Firebase.....	48
Gambar 4.10 Tampilan halaman depan display pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida	49
Gambar 4.11 Grafik sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida.....	50

DAFTAR TABEL

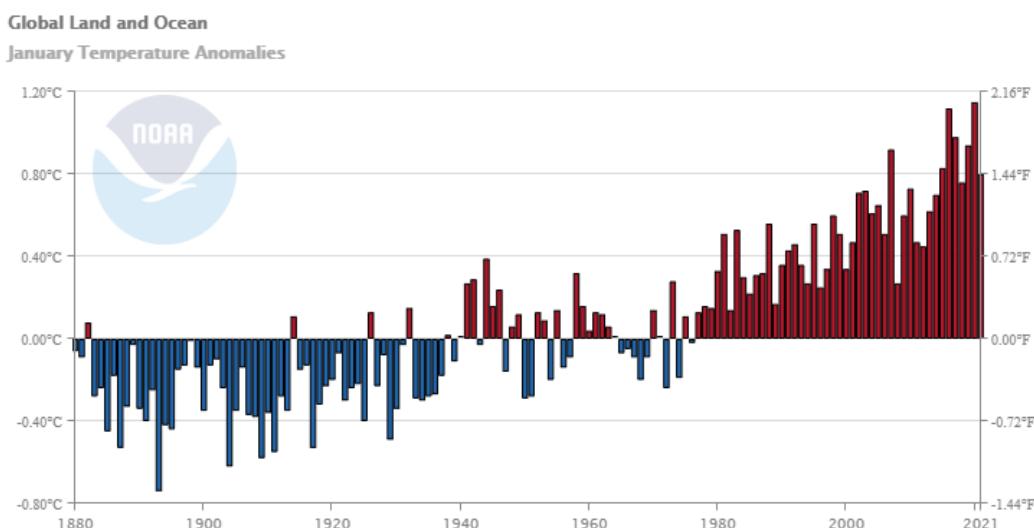
Tabel 2.1 Penelitian sebelumnya tentang Sistem Pemantauan	16
Tabel 2.2 Konsentrasi gas karbon dioksida	16
Tabel 2.3 Sistem dengan sensor <i>non-dispersive infrared</i>	17
Tabel 2.4 Peningkatan kualitas data pada <i>low-cost</i> sensor	18
Tabel 3.1 Daftar komponen diagram blok beserta fungsi	23
Tabel 3.2 Spesifikasi sensor suhu dan kelembaban pada Sensor SDC30	24
Tabel 3.3 Konfigurasi pin selektor pada modul Arduino mega 2560 dan ESP8266	27
Tabel 3.4 Konfigurasi pin mikrokontroler ke sensor	28
Tabel 3.5 Indikator pengujian sistem	34
Tabel 3.6 Daftar Komponen sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida	35
Tabel 4.1 Perbandingan spesifikasi teknis sensor SCD30 dan Thermo 410i.....	41
Tabel 4.2 Penentuan nilai <i>n-neighbour</i> dan <i>contamination</i> pada LOF	44
Tabel 4.3 Indikator peningkatan kualitas data	46
Tabel 4.4 Hasil komparasi data 1 menit selama pengujian.....	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim merupakan tantangan utama yang dihadapi kehidupan di bumi pada saat ini. Dalam *Climate Change Conference (COP26)* di Glasgow negara-negara kembali menegaskan kembali perjanjian Paris untuk membatasi kenaikan suhu rata-rata global dibawah 2°C dan mengupayakan dibatasi hingga 1.5°C karena temperatur telah naik 0.6°C pada akhir abad ke 20 (Delbeke et al., 2019). Kekhawatiran ini muncul karena aktifitas manusia menyumbang 1.1°C dari kenaikan suhu rata-rata hingga saat ini. Pemanasan global di abad 21 diproyeksikan sebesar 1.0 Sampai 3.7°C tergantung pada emisi gas rumah kaca dimasa depan, hal ini berdasarkan hasil penelitian dari *Earth Sistem Models (ESMs)*.

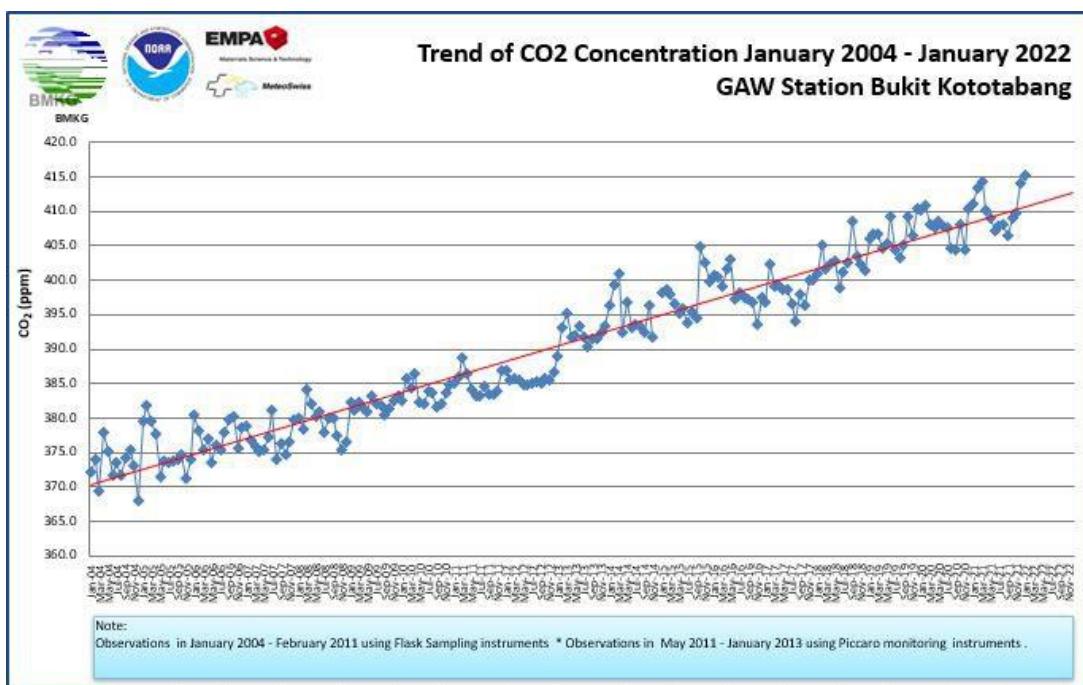


Gambar 0.1 Kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi dari tahun 1880 sampai 2021

Gambar 1.1 menunjukkan adanya kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi dalam 4 dekade terakhir. Penyebabnya kenaikan suhu di bumi adalah meningkatnya kandungan gas rumah kaca yang sebagian besar disebabkan oleh aktifitas manusia dalam pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas bumi. Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas yang akan menyelimuti dan membungkus permukaan bumi, sehingga sinar matahari

akan terjebak dan akan peranakan permukaan bumi. Kejadian ini yang disebut dengan efek rumah kaca yang menjadi perhatian para peneliti hingga masyarakat umum.

Climate sistem yang merupakan hubungan antara atmosfer, lautan, lapisan es di kutub, dataran, dan lingkungan hidup serta interaksi di dalamnya yang sebenarnya merupakan suatu hubungan yang kompleks. *Climate sistem* bersumber dari energi matahari yang diterima oleh bumi. Sebagian diserap oleh daratan dan lautan, sebagian dipantulkan kembali yang disebut dengan *heat balance of the earth*. Gas karbon yang dihasilkan oleh manusia melalui bahan bakar fosil menimbulkan efek rumah kaca yang akan mengganggu *heat balance of the earth*. Penggunaan lahan untuk pemukiman, penebangan hutan dan pengalih fungsian menjadi lahan pertanian juga akan berdampak pada *climate sistem*. Dampak perubahan iklim sangat luas mulai dari naiknya harga pangan, kelangkaan air bersih, naiknya permukaan air laut, banjir, kebakaran dan polusi, mencairnya es di kutub sampai bencana hidrometeorologi yang akan sering terjadi.



Gambar 0.2 Trend Konsentrasi Gas CO₂ sejak Januari 2004 sampai Januari 2022 di Stasiun GAW Bukit Kototabang

Sumber: <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/?p=gas-rumah-kaca>

Gas karbon dioksida termasuk gas rumah kaca yang mempengaruhi *climate system* serta lingkungan memerlukan pemantauan pada skala spasial dan temporal. Pemantauan dimaksudkan untuk memahami distribusi secara spasial dan temporal, juga perlu pemantauan lokal untuk tujuan desain penelitian yang lebih luas. Hal itu merupakan tantangan dalam pemantauan gas karbon dioksida, akan tetapi hambatannya adalah menemukan metode yang bisa menjangkau kedua hal tersebut yang dapat memenuhi kebutuhan pemantauan dan penelitian.

Sejak tahun 2004, BMKG telah melakukan pengukuran gas rumah kaca di stasiun GAW (*Global Atmosphere Watch*) yang berlokasi di Bukit Kototabang Sumatra Barat, terletak pada 0.20 LS 100.32 BT dengan ketinggian 864.5 m dpl. Pengukuran konsentrasi gas rumah kaca menggunakan peralatan otomatis (*direct method*) dan peralatan manual (*sampling method*). Peralatan otomatis menggunakan Analizer Piccaro G3010 dengan metoda *Cavity Ring-Down Spectroscopy* (CRDS).

Penelitian kali ini, peneliti merancang sistem untuk memantau konsentrasi gas karbon dioksida. Merupakan alternatif pengamatan gas karbon dioksida berbiaya murah yang diharapkan dapat memenuhi akurasi, fleksibilitas penempatan dan kualitas data. Perancangan ini menggunakan modul yang dapat dikombinasikan sehingga membentuk suatu sistem pengamatan. Sensor menggunakan NDIR (*Non-Dispersive Infrared*) untuk mengukur perubahan konsentrasi gas karbon dioksida. Dalam penelitian ini, akan dirancang sebuah sistem pemantau konsentrasi gas karbon dioksida yang dapat dipantau secara *real-time*. Akuisisi data dari sensor dilakukan oleh pemantauan Arduino Mega 2560 yang dilengkapi dengan modul Wifi ESP8266. *Database* yang digunakan dalam perancangan ini menggunakan firebase *realtime* database dari google. *Display* menggunakan web yang di *deploy* dengan firebase hosting. Data yang dihasilkan oleh *low-cost* sensor memiliki keterbatasan dalam presisi dan akurasi, sehingga perlu adanya peningkatan kualitas data. Peningkatan kualitas data dilakukan dengan cara menghilangkan data yang kosong, deteksi data pencilan dengan *Local outliers Factor* (LOF), dan melakukan moving average dengan Savitzky-Golay. Penelitian ini dibuat sebagai awal dari

rekayasa peralatan pengamatan kosentrasi gas karbon dioksida yang akan dilakukan oleh BMKG dengan *low-cost* sensor untuk memenuhi beberapa pengamatan yang belum terjangkau oleh peralatan yang mahal. Pengamatan dengan *low-cost* sensor tidak akan dan tidak bisa menggantikan pengamatan dengan alat yang mahal seperti *Cavity Ring-Down Spectroscopy* (CRDS) yang dimiliki oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) sesuai dengan rekomendasi *World Meteorological Organization* (WMO), akan tetapi perlu dikembangkan guna melakukan pengamatan di daerah *remote* seperti lahan gambut atau di daerah urban seperti di sekitar jalan raya. Dalam pengembangan sistem dengan *low-cost* sensor, ketersediaan suku cadang, kemudahan memelihara secara mandiri dan ketahanan sensor menjadi hal yang penting. Fleksibilitas juga menjadi faktor utama untuk mengatahui pola yang nantinya akan didapatkan dari pengatan gas karbon dioksida. Pengamatan gas karbon dioksida dengan *low-cost* sensor dimaksudkan untuk mengetahui pola sebaran gas karbon dioksida, mengetahui adanya sumber emisi yang berkontribusi bagi pertambahan gas karbon dioksida. Dengan memasang jaringan pengamatan *low-cost* sensor diharapkan akan mengetahui pola tertentu yang akan berkontribusi bagi pengamatan itu sendiri.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana membuat sistem pemantauan gas karbon dioksida dengan menggunakan *low-cost* sensor yang memiliki hasil pembacaan akurat.
2. Bagaimana membuat sistem portabel untuk pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida dengan *low-cost* sensor yang dapat menjadi suplemen pengamatan kualitas udara konsentrasi gas karbon dioksida sesuai WMO-No. 1215
3. Bagaimana meningkatkan hasil pebacaan *low-cost* sensor dengan menggunakan deteksi data pencilan dengan LOF dan *moving average* menggunakan Savitzky-Golay.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini dimaksudkan untuk:

1. Mengetahui kinerja suatu *low-cost* sensor dengan membandingkan peralatan pengamatan gas karbon dioksida yang ada di BMKG sehingga nantinya akan digunakan sebagai peralatan suplemen.
2. Membuat sistem pemantauan secara *realtime* konsentrasi gas karbon dioksida dengan menggunakan *low-cost* sensor sebagai suplemen peralatan primer dalam pengamatan gas karbon dioksida di BMKG

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Parameter yang diukur adalah konsentrasi gas karbon dioksida.
2. Akuisisi data dengan menggunakan Arduino Mega 2560 dan pengiriman data berbasis *IoT* dengan modul *wifi* NodeMCU ESP8266.
3. Pemantauan sistem meliputi pengukuran nilai, pencatatan, dan pengolahan nilai konsentrasi gas karbon dioksida sehingga bisa diamati secara *real-time*.
4. Peningkatan kualitas data meliputi deteksi data pencilan dengan *Local Outliers Factor*, dan *moving average* data menggunakan Savitzky-Golay
5. Pengujian kinerja sistem dilakukan dengan komparasi sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida dengan peralatan operasional Thermo 410i di BMKG.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diantaranya:

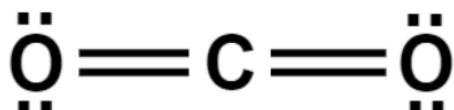
1. Penelitian ini diharapkan dapat memulai adanya pengembangan pengamatan gas karbon dioksida di BMKG yang menggunakan *low-cost* sensor.
2. Penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai peralatan suplemen yang bisa diuji coba di stasiun pengamatan konsentrasi gas karbon dioksida.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas Karbon Dioksida

Karbon dioksida adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu atom karbon dan dua atom oksigen, berbentuk gas pada suhu kamar, mudah larut dalam air dan tidak berwarna. Karbon dioksida merupakan senyawa penting untuk semua tanaman dalam proses fotosintesis (Susana, 1988). Sumber yang paling banyak menghasilkan karbon dioksida adalah proses pembakaran bahan bakar fosil untuk berbagai kegiatan manusia



Gambar 0.1 Susunan Molekul CO₂

Struktur karbon dioksida menurut Lewis digambarkan bahwa atom karbon berada ditengah diapit oleh atom oksigen yang diikat dengan masing-masing dua *bonding* elektron (Mekonen, 2018). Seperti digambarkan pada gambar 2.1 Penggambaran tersebut berdasarkan dari penentuan jumlah elektron valensi yang ada pada unsur CO₂ seperti dirumuskan:

$$1[4 \text{ ve}^-] (1 \times \text{Carbon}) + 2[6 \text{ ve}^-] (2 \times \text{Oxygen}) = 16 \text{ ve}^- \quad (2.1)$$

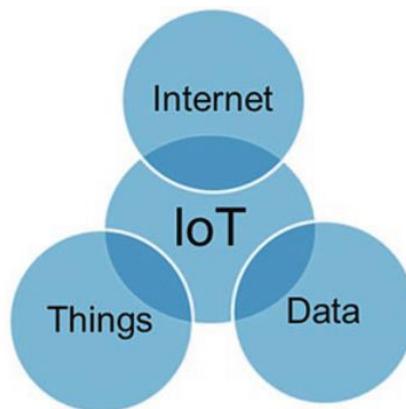
Pengukuran konsentrasi gas karbon dioksida dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan otomatis (*direct method*) dan peralatan manual (*sampling method*). Pengukuran konsentrasi gas reaktif atau sebagai polusi udara bisa dideteksi dengan menggunakan *electrochemical* (EC) sensor, *metal oxide semiconductor* (MOS) sensor, *miniature photoionization detectors* (PIDs) dan *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) sensor. NDIR sensor menggunakan serapan sinar infrared untuk mengukur konsentrasi gas CO₂. Pengukuran gas biasanya dilaporkan dalam skala perbandingan seperti *parts per million* (ppm) atau mg/L dan *part per billion* (ppb) atau µg/L.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah instansi yang salah satu tugasnya adalah mengamati dan melaporkan kualitas udara

khususnya gas rumah kaca menurut Undang-Undang No. 31 tahun 2009. Gas yang termasuk dalam gas rumah kaca adalah karbon dioksida (CO_2), methan (CH_4), nitrous oksida (N_2O) dan lain sebagainya. Alat pemantau gas karbon dioksida yang ada di BMKG diletakkan di stasiun GAW (*Global Atmosphere Watch*) diantaranya di Kototabang, Palu dan Sorong, dan kantor BMKG Pusat Kemayoran. Informasi kualitas udara BMKG dapat diakses melalui *website* BMKG bagian kualitas udara.

2.2 IoT (Internet of Things)

Internet of Things (IoT) adalah jaringan yang menghubungkan, dapat mengidentifikasi, dilengkapi dengan *software* yang cerdas, sensor yang semuanya terkoneksi dengan internet. IoT memungkinkan obyek dapat bertukar informasi dengan pabrikan, dengan operator, atau dengan perangkat lain dengan infrastruktur internet. Hal ini memungkinkan modul dapat mengambil informasi tertentu, dan dapat dikendalikan jarak jauh dengan internet sehingga memungkinkan integrasi antara dunia luar dan sistem komputer sehingga menghasilkan efisiensi, dan keuntungan secara ekonomi (Singh et al., 2020)



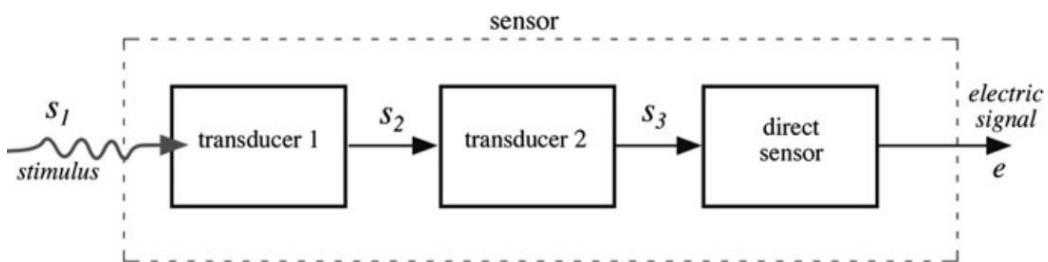
Gambar 0.2 Definisi IoT dalam bentuk yang sederhana

Ide tentang IoT ini adalah bagaimana menghubungkan sesuatu bisa berupa modul atau sensor, mesin, peralatan ke jaringan internet untuk *monitoring* atau kontrol. Internet menjadi komponen utama dalam menghubungkan dan meginteraksikan benda dengan pengguna sehingga pekerjaan dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan efisien. Lebih dari itu IoT juga menghubungkan manusia dengan segala keperluannya dalam kehidupan, seperti transportasi *online*, pesan

makanan *online*, pemesana tiket dan lain sebagainya yang dilakukan dengan internet.

2.3 Sensor Gas Karbon Dioksida

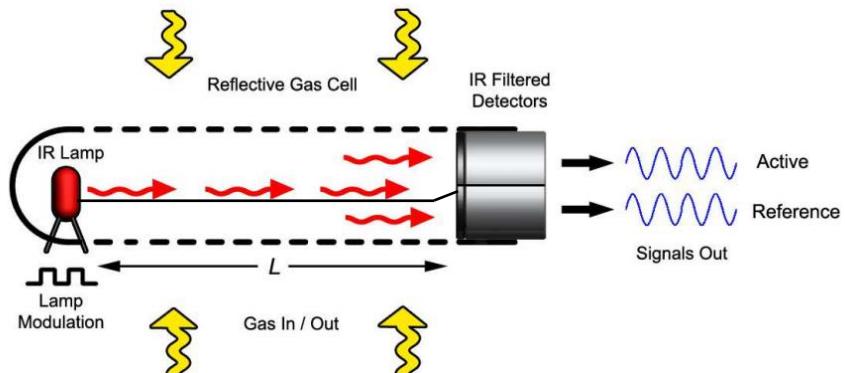
Sensor adalah perangkat yang dapat menerima stimulus dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Stimulus bisa berupa kuantitas tertentu, sifat tertentu, atau kondisi yang diterima dan diubah ke sinyal listrik. Kegunaan sensor adalah untuk merespon beberapa input (keadaan fisis) tertentu dan merubahnya ke dalam sinyal listrik yang kompatibel dengan rangkaian elektronik. Keluaran sensor dapat berupa tegangan, arus, muatan, frekuensi, fase, atau data digital. Sensor tidak dapat berfungsi sendiri, dalam sistem yang lebih luas sensor digabungkan dengan detektor lain, pengkondisi sinyal, pemroses sinyal, penyimpan data, ataupun aktuator (Fraden, 2010).



Gambar 0.3 Sebuah sensor terdiri dari beberapa transduser

Sensor berbeda dengan transduser, dimana merupakan sesuatu yang mengubah suatu energi ke dalam energi yang lainnya. Gambar 2.3 dimana ada s_1 dan s_2 yang merupakan transduser yang merubah suatu energi ke energi lainnya. Bagian yang terakhir merupakan sensor yang merubah besaran yang dihasilkan dari transduser sebelumnya menjadi besaran listrik. Pengukuran konsentrasi gas karbon dioksida dapat dilakukan dengan beberapa teknik salah satu diantaranya adalah dengan menggunakan teknik *Non-Dispersive Infrared* (NDIR). Sensor NDIR terdiri dari sumber *infrared*, *chamber* tempat mengukur dimana gas akan dianalisa, *infrared detector* dan filter dengan panjang gelombang tertentu. Molekul gas akan dipompa ke dalam *chamber*. Filter akan meloloskan panjang gelombang *infrared* sekitar 4.26 μm . Intensitas sinar *infrared* yang dihasilkan akan ditangkap oleh detektor yang idealnya akan diserap oleh gas tertentu, kemudian diubah menjadi

konsentrasi gas (Mekonnen, 2018). Dengan prinsip NDIR seperti pada gambar 2.4 ada 100 jenis gas dapat diukur konsentrasi nya dalam satuan persen



Gambar 0.4 Prinsip Pengukuran gas dengan Non-Dispersive Infrared sensor

Sensor NDIR untuk mendeteksi CO₂ menggunakan panjang gelombang 3 – 8 μm dan masuk pada sub bagian *Mid-wavelength Infrared*. Teknik radiasi *non-dispersive infrared* untuk mendeteksi deteksi gas merupakan teknik yang tidak memerlukan optik pendispersi *infrared* seperti pada teknik *Dispersive Infrared* (DIR). Pada Teknik NDIR radasi *infrared* langsung ke *sample* gas sedangkan pada DIR akan ditambahkan prisma sebagai elemen pendispersi. Komponen utama sensor NDIR adalah sumber *infrared*, reflektor optik, filter, sensor (detektor) dan sel referensi.

Prinsip kerja sensor NDIR sensor saat radiasi *infrared* melewati *sample* gas, maka panjang gelombang tertentu akan diserap oleh gas, penyerapan itu sebanding dengan konsentrasi molekul gas tersebut. Menurut hukum Lambert-Beer jika ada substansi yang dilalui oleh cahaya, maka substansi tersebut dapat melakukan absorbansi yang dirumuskan:

$$\log \frac{I_0}{I} = -kCL \quad (2.2)$$

dimana :

I_0 , Intensitas radiasi awal

I , intensitas radiasi setelah melintasi gas ke detektor

k , koefisien penyerapan (*molar absorptivity*)

C , konsentrasi gas

L , panjang jalur optik yang biasanya ditentukan oleh panjang ruang sampel efektif sensor

2.4 Suhu

Suhu adalah ukuran energi kinetik rata-rata dari partikel yang menyusun zat tersebut yang sedang diukur. Sedangkan panas adalah jumlah energi yang terdapat pada pertikel tertentu. Kelvin merupakan skala suhu absolut yang didasarkan pada *triple point of water* *Triple point of water* menunjukkan suhu 273.16 K dengan titik es 273.15 K, dan titik uap 373.15 K. Kelvin dan Celsius juga memiliki skala yang sama untuk penunjukkan suhu, yakni $1\text{K} = 1^\circ\text{C}$, sehingga rumusan antara dua skala dituliskan:

$$\theta = T - 273.15 \quad (2.3)$$

dimana θ : suhu dalam ${}^\circ\text{C}$, dan T suhu dalam Kelvin

Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan alat yang dinamakan thermometer. Sensor pada pengukuran suhu menggunakan analog dan elektronik sensor. Termometer analog menggunakan gelas berisi alcohol atau air raksa, selain itu ada juga dengan menggunakan prinsip bimetal. Pengukuran suhu dengan elektronik dilakukan dengan menggunakan prinsip *thermoresistive*, *thermoelektrik* dan *IC temperature*. Prinsip thermoresistive adalah perubahan suhu akan mengakibatkan perubahan hambatan suatu sistem sesnro, yang terdiri dari *Resistance Temperature detector* (RTD), *Silicon Resistive PTC Sensor*, dan *Thermistor*. Sensor dengan prinsip *thermoelektrik* adalah menggunakan perubahan suhu menjadi energi listrik dengan menggunakan berdasarkan prinsip efek *Seebeck*, seperti thermocouple. Prinsip *IC Temperature* Sensor menghasilkan arus keluaran yang sebanding dengan suhu absolut dan kelembaban udara

2.5 Kelembaban Udara Relatif

Kelembaban udara relatif adalah rasio tekanan uap air aktual pada suhu tertentu dengan tekanan uap air jenuh pada suhu yang sama. Kelembaban relatif dinyatakan dalam satuan persen (%) yang dirumuskan:

$$H = \frac{P_w}{P_s} \times 100\% \quad (2.4)$$

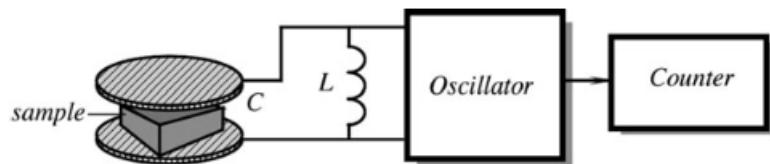
dimana:

H : kelembaban relatif

P_w : tekanan uap air tertentu

P_s : tekanan uap air jenuh pada suhu tertentu

Nilai kelembaban relatif juga merupakan formasi dari uap air droplet (*dew*) dalam suhu tertentu. Selain kelembaban udara relatif juga diketahui kelembaban udara absolut yakni, massa uap air per volume dari suatu gas. Kelembaban absolut di nyatakan dalam satuan gram per meter kubik. Sedangkan *dew point* adalah merupakan suhu, pada saat kelembaban relatif nya mencapai 100 %.



Gambar 0.5 Prinsip pengukuran kelembaban dengan prinsip kapasitif

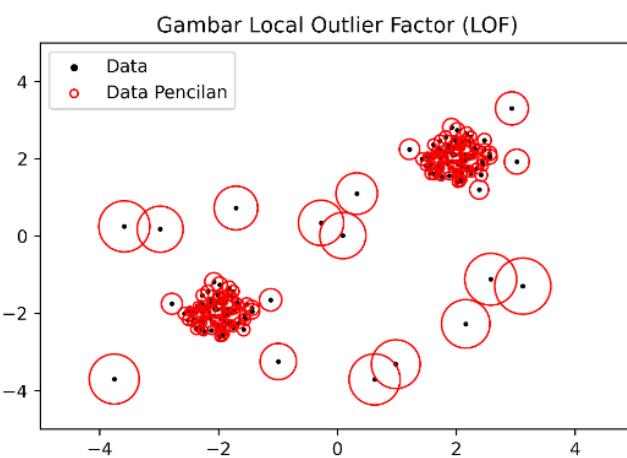
Teknik yang dipakai dalam pengukuran kelembaban adalah memasukkan *sample* udara dalam material. Pada gambar 2.5 diatas menunjukkan blok diagram sistem pengukuran kapasitif dimana konstanta dielektrik pada *sampel* akan merubah frekuensi osilator. *Sampel* diletakkan di dalam dua plat uji yang membentuk kapasitor yang kemudian dihubungkan ke dalam sirkuit osilasi LC. Frekuensi yang terukur akan dipengaruhi oleh kelembaban sampel sehingga sensor akan menunjukkan nilai kelembaban tertentu.

2.6 LOF (Local Outliers Factor)

LOF (*Lokal Data pencilan Factor*) merupakan algoritma *machine learning unsupervised* yang digunakan untuk mendeteksi anomali data dengan menghitung deviasi kerapatan lokal yang dimiliki titik data terhadap tetangganya. LOF mengidentifikasi data pencilan sehubungan dengan lingkungan lokal yang bertentangan dengan seluruh distribusi data (Breunig et al., 2000). LOF yang

digunakan pada deteksi data pencilan tidak memiliki metode prediksi, fungsi keputusan dan *sampel* skor.

Data pencilan pada suatu pengamatan merupakan kumpulan data yang dianggap berbeda secara signifikan dari sebuah pengamatan. Data pencilan ini terjadi karena variabilitas dalam pengukuran, kesalahan eksperimental atau *noise* (ur Rehman & Belhaouari, 2021). Keberadaan data pencilan dapat membuat analisis data yang salah dan menurunkan kinerja dari algoritma *machine learning* jika data dipakai untuk proses belajar.



Gambar 0.6 Proses deteksi data pencilan lokal dengan LOF

Gambar diatas menunjukkan 2 kelompok data yang memiliki beberapa data pencilan. Upaya yang biasa dilakukan untuk melihat data pencilan adalah dengan menggunakan metode *boxplot* untuk menandai suatu data berada pada titik ekstrem, yakni yang lebih besar dari batas atas dan lebih kecil dari batas bawah. Penentuan batas bawah dan batas atas biasanya ditentukan dengan menggunakan *Inter Quartile Range* (IQR). IQR didefinisikan sebagai selisih antara kuartil 1 dengan kuartil 3. Data pencilan dapat didefinisikan nilai yang kurang dari $1.5 * \text{IQR}$ terhadap kuartil 1 dan nilai yang lebih dari $1.5 * \text{IQR}$ terhadap kuartil 3 dengan persamaan:

$$\text{IQR} = Q3 - Q1$$

$$\text{Batas bawah} = Q1 - 1.5 * \text{IQR}$$

$$\text{Batas atas} = Q3 + 1.5 * \text{IQR}$$

2.5

Cara menentukan data pencilan dengan menggunakan *boxplot* akan sulit apabila terdapat *noise* atau data pencilan tercampur kedalam distribusi data, atau berada pada klaster data pencilan yang kecil.

Deteksi data pencilan disebut juga dengan deteksi anomali yang dibagi ke dalam 2 jenis, yang pertama deteksi data pencilan global, yakni data pencilan yang berada diluar kisaran data normal untuk seluruh kumpulan data. Sedangkan deteksi data pencila lokal adalah mendeteksi data pencilan yang mungkin masih dalam kisaran normal dalam kisaran dataset, akan tetapi diluar jangkauan normal pada titik disekitarnya (Omar Alghushairy, 2021).

Algoritma yang berbasis LOF menghitung nilai untuk setiap titik data dan menetapkan nilai pada data tersebut. Nilai ini disebut *LOF point*. Bergantung pada nilai LOF tersebut, kita dapat menentukan apakah suatu titik merupakan data pencilan atau tidak.

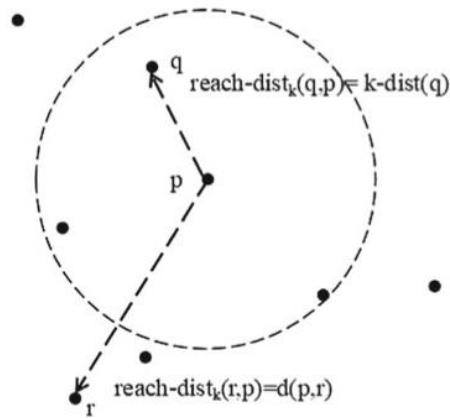
Langkah yang dilakukan dalam menerapkan model LOF diantaranya:

1. Menghitung jarak antara p dan titik o dan juga k -nearest neighbours yang diberikan menggunakan fungsi jarak seperti Euclidean.

$$d(p, o) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2} \quad 2.6$$

2. Menghitung jarak dari semua titik data dalam yang ada pada k-NN dari titik p
 $k\text{-}dist(p)$. adalah jarak antara titik data dengan k -th nearest neighbour.
 $reach\text{-}dist$. $reach\text{-}dist$ titik q ke titik p adalah maksimum dari 2 nilai: $k\text{-}dist(q)$ dan jarak antara p dan q yakni $d(p,q)$, yang dirumuskan:

$$reach\text{-}dist(q,p) = \max\{k\text{-}dist(q), d(p,q)\}$$



Gambar 0.7 Contoh dari $reach-dist(q,p)$ dan $reach-dist(r,p)$ untuk $k = 4$

Pada Gambar 2.7 menunjukkan bahwa $reach-dist(q,p)$ sama dengan $k-dist(p)$, karena $k-dist(q)$ lebih besar dari $d(p,q)$. Sedangkan $reach-dist(r,p)$ sama dengan $d(p,r)$ karena $d(p,r)$ lebih besar dari $k-dist(r)$

3. Mencari (LRD) *Local reachability density*. LRD adalah *invers* dari jarak jangkauan rata-rata dari semua titik yang ada pada lingkungan k- pada point yang dirumuskan:

$$LRD_k(p) = \frac{1}{k} \left(\sum_{q \in N(p,k)} reach-dist_k(p, q) \right)^{-1} \quad 2.7$$

4. LOF (*Local outliers factor*) dari data p adalah rata-rata rasio antara LRD (o) dan LRD (p) dari semua titik data o didalam lingkungan k- ke titik data p dirumuskan:

$$LOF_k(p) = \frac{1}{k} \sum_{o \in N(p,k)} \frac{LRD_k(o)}{LRD_k(p)} \quad 2.8$$

Sehingga demikian, dapat dikatakan bahwa LOF dari setiap objek bergantung pada satu parameter yang adalah jumlah minimum titik di lingkungan terdekat.

2.7 Savitzky-Golay Moving Average

Savitzky-Golay *moving average* merupakan merupakan bagian dari Savitzky-Golay filter yang dapat digunakan untuk memperhalus data dengan menggunakan polinomial kuadrat terkecil. Data yang mengandung *ripple* atau derau yang acak, dapat menimbulkan fluktuasi data. Untuk mengurangi distorsi, efek variasi acak ini, maka data perlu diperhalus. Penghalusan ini berdasar pada *fitting* data dengan metoda kuadrat terkecil [Grissom dan Koehler, 1971]. Sebuah data x akan dihaluskan menggunakan fungsi polinomial *orde-K* yang dipasangkan ke dalam data antara $(x-W, \text{ dan } x+W)$, dimana W adalah ukuran dari *window* yang telah ditentukan dan x dijadikan indekskan ulang sebagai 0 dari pusat kelompok data sampel $2W+1$ yang di masukkan pada persamaan :

$$p(x) = \sum_{k=0}^K a_k x^k \quad 2.9$$

Mean-squared approximation error diminimalisir untuk mendapatkan koefisien polinomial sebagai berikut:

$$\min \sum_{x=-W}^W \sum_{k=0}^K (a_k x^k - f(x))^2 \quad 2.10$$

Dimana $f(x)$ adalah nilai pada data x

Hasil dari penghilangan *noise* tergantung pada derajat polinomial k dengan ukuran *window* yang ditentukan sebelumnya $2W+1$. Pemilihan ukuran *window* harus dipertimbangkan secara khusus untuk menghindari distorsi data yang akan merubah bentuk data. *Window* yang kecil diaplikasikan pada data yang memiliki fluktuasi tinggi untuk menghindari distorsi, sedangkan *window* yang besar digunakan untuk data yang cenderung datar.

2.8 Penelitian Sebelumnya

Penelitian ini dilakukan berdasarkan teori pendukung, kajian dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Bab 2 ini akan membahas tentang tinjauan pustaka yang terkait pada penelitian ini. Penelitian sebelumnya yang telah

dilakukan berhubungan dengan penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.1 sampai dengan tabel 2.4.(Arakawa et al., 2020)

Tabel 0.1 Penelitian sebelumnya tentang Sistem Pemantauan

No	Peneliti	Hasil	Metode	Tahun
1	Takahiro Arakawa	Dapat mengukur konsentrasi gas ethanol 1-3100 pbb	Membangun sistem untuk mengukur memantau konsentrasi Ethanol periodik	2020
2	Guiwen Liu	Menyajikan pengukuran gas Rumah kaca secara <i>real-time</i> dan kumulatif	Pemantauan dan visualisasi <i>real-time</i> dari emisi gas rumah kaca secara otomatis	2020
3	HuiBin Li	<i>Sampling</i> data dan pengukuran otomatis, meningkatkan kapasitas pengukuran dari 5,2 L ke 26 L	<i>Sampling</i> data dan pengukuran otomatis	2020
4	Tianyan Zhong	Membangun sistem pengamatan gas ethanol dari 0 ppm sampai 800 ppm dan oksigen dari 0 ppm sampai 850 ppm	Mengetahui karakteristik <i>sensing</i> dan kinerja sensor	2019
5	Fikri Faisal Adli	Didapatkan nilai kadar gas CO parkiran nilai rata-rata 15,52 ppm dan nilai tertinggi 17,27 ppm	Mengetahui nilai CO secara <i>real-time</i>	2019
	Moch Toat	Dapat mengukur konsentrasi gas CO ₂ secara realtime dalam skala ppm	Membangun sistem untuk mengukur konsentrasi CO ₂ secara <i>real-time</i> dan otomatis	2022

Tabel 2.1 berisi tentang penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan Sistem Pemantauan. Sistem pemantauan meliputi pengukuran nilai, pencatatan, dan pengolahan yang dilakukan secara otomatis oleh sistem konsentrasi gas karbon dioksida sehingga bisa diamati secara *real-time*.

Tabel 0.2 Konsentrasi gas karbon dioksida

No.	Peneliti	Hasil	Metode	Tahun
1	Aydin Shishegara	Aloe Vera dapat menurunkan kadar CO ₂ dan lebih sedikit menghasilkan gas CO ₂ dibanding tanaman (SMTA), (TNF)	Evaluasi konsentrasi CO ₂ secara periodik	2020
2	Weiguo Zhao	Frekuensi dan penyerapan akustik digunakan untuk menentukan model campuran gas CO ₂ dan Nitrogen. <i>Error</i> yang didapatkan 7,7 % terhadap pengaruh suhu	Pengukuran konsentrasi gas CO ₂ dengan ultrasonik dan pengaruh suhu pada pengukuran	2021

3	K.R. Nemade	Respon Chemiresistor terhadap CO ₂ pada 50 ppm dalam suhu ruang untuk stabil	Chemiresistor untuk monitoring konsentrasi gas CO ₂	2014
4	Evizal Abdul Kadir	Hasil Pengukuran gas karbon pada daerah kebakaran memiliki nilai yang lebih dari lokasi lain yakni 490 ppm.	Mendeteksi dan mengidentifikasi kuantitas gas karbon dari berbagai sumber	2021
5	JongSeon Park	Dalam rentang 30 °C maksimum error ± 30 ppm dari awalnya 100 ppm pada 1000 ppm	Menggunakan sensor suhu sebagai <i>inisial value</i> untuk mengkompensasi suhu dalam pengukuran konsentrasi gas CO ₂	2010
	Moch Toat	Mengukur konsentrasi gas CO ₂ dalam skala ppm	Mendeteksi dan mengukur konsentrasi gas CO ₂	2022

Tabel 2.2 berisi penelitian sebelumnya tentang konsentrasi gas karbon dioksida. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui nilai yang mewakili kuantitas konsentrasi gas karbon dioksida tersebut. Mendeteksi dan mengukur dilakukan dengan sensor. Sensor yang digunakan menggunakan prinsip *non-dispersive infrared*.

Tabel 0.3 Sistem dengan sensor *non-dispersive infrared*

No.	Peneliti	Hasil	Metode	Tahun
1	Luciano B. Mendes dkk	Sensor NDIR memiliki variabilitas 5% dengan PAS sansor dan OP-Laser dan sensitivitas terhadap perubahan tekanan 1 hPa adalah 0.08%.	NDIR sensor untuk <i>spasial field monitoring</i> CO ₂	2015
2	Reza Diharja	Sensor NDIR harus memiliki kompensasi suhu karena perubahan suhu berpengaruh. Sensitivitas sensor NDIR 7 mV /ppm	NDIR untuk mengukur gas CO yang harus dikompensasikan dengan suhu	2019
3	Alexis A. Shusterman	Menemukan pola harian dan musiman. Sistem memiliki standar deviasi 9.57 to 22.4 ppm	Wireless sensor Network dengan NDIR sensor Vaisala CarboCap GMP343 dengan resolusi tinggi	2016
4	Michael Müller	Menggunakan 250 Sensor network dengan akurasi rata-rata 10 ppm dengan koreksi drift, data penciran dan <i>monitoring</i> secara terus menerus	Wireless sensor Network dengan NDIR sensor LP8	2020
5	Muhammad Rivai	Semakin besar kadar alkohol , semakin besar pula <i>absorbansi</i> yang dihasilkan. Nilai <i>absorbansi</i> 20 % alkohol 0,15 dan 60% alkohol 0,26	NDIR dengan panjang gelombang 0,7-20 untuk mendeteksi alkohol	2016

	Moch Toat	Menghasilkan konsentrasi gas CO ₂ dengan low-cost sensor NDIR, Komparasi dengan sensor Gas CO ₂ yang dipakai untuk operasional pengamatan gas CO ₂ di BMKG	Menggunakan Prinsip NDIR untuk mengukur konsentrasi Gas CO ₂	2022
--	-----------	---	---	------

Tabel 2.3 merupakan penelitian sebelumnya berkaitan dengan sensor *non-dispersive infrared*. Sensor yang digunakan merupakan *low-cost* sensor dengan prinsip NDIR. *low-cost* sensor digunakan karena memiliki harga yang terjangkau yaitu \$ 100, dibandingkan dengan sensor yang dipakai oleh Alexis A. Shusterman yakni Vaisala carboCap GMP343 yang memiliki akurasi ± 2 ppm yang mempunyai harga sekitar \$ 2800.

Tabel 2.4 merupakan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan meningkatkan kualitas data dari *low-cost* sensor. Peningkatan terdiri dari peningkatan secara sistem, peningkatan secara statistik, deteksi data pencilan dengan *Local Outliers Factor* (LOF) dan memperhalus data dengan Savitzky-Golay sebagai *moving average*.

Tabel 0.4 Peningkatan kualitas data pada *low-cost* sensor

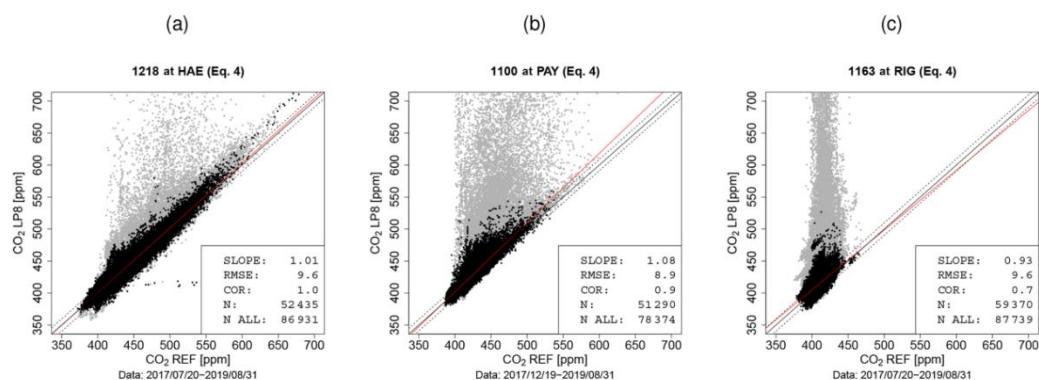
No	Penulis	Metode	Hasil	Tahun
1	Michael R. Giordano	<ul style="list-style-type: none"> Pengujian di lokasi yang sama, Respon terhadap perubahan suhu dan kelembaban, Mencakup rentang pengukuran yang lebar Melakukan evaluasi dan faktor koreksi yang didapat, 	<i>low-cost</i> sensor dapat memberikan informasi yang berguna tentang dampak spasial temporal dengan upaya tabahan untuk menghasilkan data berkualitas tinggi.	2021
2	Nam H. Nguyen	<ul style="list-style-type: none"> <i>Singe point calibration</i> untuk <i>drift</i>, <i>Multi point calibration</i>, di batas atas dan batas bawah Evaluasi sensor akurasi per range pengukuran, Evaluasi korelasi dengan r^2 	Sensor PMS5003 sebelum kalibrasi <i>multipoint</i> memiliki <i>error</i> 200-700 ug/m ³ ., Sensor CO ₂ DS-CO2-20 mempunyai <i>error</i> yang lebih kecil setelah dilakukan kalibrasi.	2021

3	Cory R. Martin	<ul style="list-style-type: none"> Evaluasi kalibrasi, sebelum melakukan <i>offset</i> (<i>error</i> maksimum dan minimum) dan RMSE Periode pengamatan yang cukup Setelah <i>offset</i>, koreksi faktor suhu, kelembaban tekanan dengan dengan <i>multivariate linear regression analysis</i>, Merata-rata kan data 60 detik atau 200 detik, Membuat rata-rata data 10 menit an dan 1 jam an 	Mengurangi <i>error</i> dari -5 sampai 21 ppm ke kurang dari 5 ppm.	2017
4	Michael Muller	<ul style="list-style-type: none"> Menandai data dengan kelembaban tinggi, Deteksi data pencilan, Koreksi <i>drift</i>, Melakukan pengecekan secara berkala 	Mendapatkan akurasi sensor 10 ppm dengan kalibrasi, pemantauan secara terus menerus dan koreksi selama pengoperasian	2017
5	Omar Alghushairy	Reviu LOF (<i>Local Outliers Factor</i>) untuk deteksi data pencilan lokal dengan data secara <i>stream</i> dan statik	Deteksi data pencilan dapat lebih efisien dan ditingkatkan dengan <i>Local Outlier Detection</i> , khusunya LOF	2021
6	Zhangyu Cheng	Menggunakan beberapa dataset untuk menguji data pencilan dengan LOF (<i>Local Outliers Factor</i>) dan IF (<i>Isolation Forest</i>) dan Gabungan diantaranya.	LOF unggul dalam deteksi data pencilan dibanding dengan IF dari segi waktu. Kombinasi LOF dan IF menghasilkan akurasi mencapai 0,99.	2019
7	Hamed Azami	Membandingkan filter Savitzky-Golay dan <i>Moving Average</i> pada sintetis dataset dan real EEG dataset.	Dengan savitzky-Golay mendapatkan TP (<i>True Positif</i>) 100 % dan FP (<i>False positif</i>) 24%. Lebih rendah dari MA 32 %.	2011
8	E. Ostertagová	Membandingkan <i>polynomial regression</i> dan Savitzky-Golay <i>moving average smoother</i>	SGMA lebih baik dari pada <i>polynomial regression</i> dengan perbandingan RMSE 0,0182 dibanding 0,0539 dan MAPE 0,2279 dibanding 0,6175	2016
	Moch Toat	Meningkatkan kualitas data <i>low-cost</i> sensor NDIR CO ₂ dengan LOF dan <i>moving average</i> Savitzky-Golay	Mengurangi RMSE, MAE dan meningkatkan akurasi <i>low-cost</i> sensor.	2022

Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan yang berkaitan dengan pengukuran emisi gas karbon dioksida. Penelitian dengan menggunakan *low-cost*

sensor untuk mengukur gas CO₂ telah dilakukan oleh S.L Brown dengan menggunakan sensor K30 dari Senseair yang dilengkapi dengan sensor tekanan dan sensor suhu. Penelitian ini menggunakan Arduino uno sebagai *mikrokontroller*. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada proses kalibrasi *low-cost* sensor dengan nilai dibawah 1000 ppm mempunyai kinerja yang baik dengan nilai R² lebih dari 0.99.

Penelitian dengan menggunakan jaringan *low-cost* sensor berbasis NDIR juga dilakukan oleh Michael Muller. 250 Sensor NDIR LP8 dipasang selama 19 sampai dengan 25 bulan memiliki akurasi sebesar 8 sampai 12 ppm. Data hasil pembacaan sensor dikirim ke server melalui LoRaWAN *long range* yang disebut memiliki *low power network* sehingga cukup sedikit membutuhkan energi. Akurasi *low-cost* sensor sebenarnya diluar akurasi yang di prasyaratkan oleh WMO dalam pengamatan gas CO₂ di GAW yakni sebesar 0.2 ppm. Penelitian ini ditujukan untuk melengkapi pengukuran yg akurasi tinggi dengan informasi fariasi jangka pendek dan lokal pada akurasi sekitar 10 ppm yang dekat dengan emisi sumber, seperti di kota Zurich. Dengan menggunakan sensor LP8 dapat memiliki akurasi rata-rata 10 ppm jika dilakukan kalibrasi, dimonitor secara terus menerus dan koreksi *drift* selama beroperasi dan pengukuran dilakukan koreksi terhadap nilai penculan yang ada. Pada gambar 2.9 a sistem dipasang di lokasi HAE sebelah jalan raya, kemudian gambar b di lokasi PAY didaerah pedesaan dan lokasi c dipasang di lokasi RIG di daerah Gedung. Titik yang berwarna abu -abu menunjukkan *outliers* dari pengamatan ini.



Gambar 0.8 Grafik perbandingan antara sensor NDIR LP8 dengan referensi.

Penelitian lain dilakukan oleh Evizal Abdul Kadir yang melakukan

penelitian tentang identifikasi sumber gas karbon di Indonesia. Penelitian dilakukan di kota Pekanbaru dengan membandingkan data karbon yang diperoleh dari kebakaran hutan, tempat pembuangan sampah, jalan perkotaan dan dari pabrik kawasan industri. Penelitian dilakukan dengan sensor CO₂ berbasis NDIR dilengkapi dengan sensor suhu, kelembaban, sensor gas dan sensor api. Data dikumpulkan dalam *mikrokontroller* dan dikirim ke *server* melalui jaringan GSM 4G. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kebakaran hutan menyumbang gas karbon terbesar dari pada pengamatan di lokasi tempat pembuangan sampah, jalan perkotaan dan pabrik kawasan industri.

Penelitian dilakukan oleh Alexis A. Shusterman tentang jariangan pengamatan CO₂ yang dilakukan di Oakland, California dengan menggunakan sensor vaisala CarboCap GMP343 untuk sensor CO₂, GX Sensortech MiCS-4514 untuk mendeteksi CO/NO₂ dan MiCS-2614 MOS sensor untuk mendeteksi O₃ yang dilengkapi dengan sensor tekanan BMP180 dan SHT 15 untuk sensor suhu dan kelembaban. Mikrokontroller yang digunakan adalah Raspberry pi untuk sensor CO₂ dan Arduino Leonardo untuk pengamatan yang lainnya. Komunikasi menggunakan Mini GSM seluler. Sensor CO₂ vaisala CarboCap GMP343 menunjukkan kinerja yang baik pada saat dipasang lokasi dengan koreksi ± 2.18 ppm dengan R² = 0.9999 dibandingkan dengan alat standar Picarro.

Penelitian tentang IoT dilakukan oleh Tiago Araújo (Araújo et al., 2020) dengan menggunakan menggunakan low-cost sensor untuk parameter suhu, kelembaban, tekanan, dan karbon dioksida. Kinerja sensor diukur berdasarkan parameter *mean error* (ME), *root mean square error* (RMSE) pada tingkat pengukuran yang berbeda. Statistik akurasi sensor dilakukan dengan mengukur standar deviasi dan *signal to noise ratio* (SNR), r² dan *Dynamic Residual* (DR). Penelitian IoT Lain dilakukan oleh P. Kanakaraja untuk mendeteksi kebakaran hutan dengan menggunakan IoT platform Ubidots dan menggunakan ESP32 Development Board sebagai *mikrokontroller*. Sensor yang digunakan adalah sensor hujan, sensor suara, sensor suhu, kelembaban, dan PIR sensor. Sensor akan membaca kondisi dan mengirimkan hasilnya ke IoT *platform* dengan internet melalui module ESP32. Kemudian display data berupa LCD dan Sensor Display di Ubidots *platform*.

BAB 3

METODE PENELITIAN

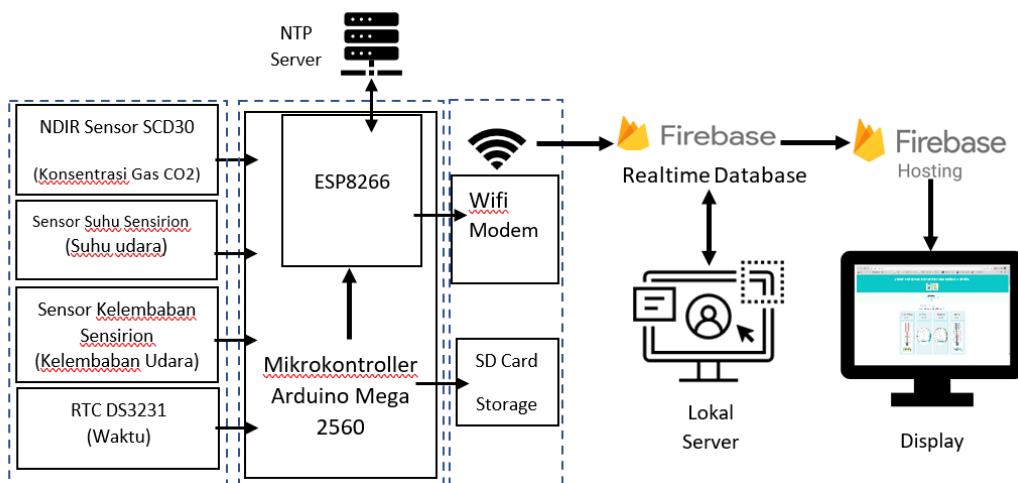
Bab 3 ini berisi terkait perancangan sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida dengan menggunakan NDIR sensor, yang terdiri dari perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, serta perancangan antarmuka pengguna.

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Sub bab ini menampilkan blok diagram sistem serta fungsi dari masing-masing blok diagram, pemilihan komponen dalam sistem, prinsip kerja dan spesifikasi kinerja sensor yang dipakai dalam perancangan sistem.

3.1.1 Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem adalah diagram proses sistem yang akan dibuat dalam penelitian. Pada tahap ini berisi tentang komponen yang digunakan, cara kerja sistem secara umum, serta fungsi dari masing-masing komponen sehingga dapat bekerja seperti tujuan perancangan sistem. Blok diagram berfungsi untuk mengenali fungsi dasar suatu sistem guna memahami cara kerja sistem dalam penelitian ini.



Gambar 0.1 Blok Diagram sistem Pemantauan Konsentrasi Gas Karbon Dioksida

Gambar 3.1 menunjukkan komponen yang dibutuhkan dalam perancangan. Komponen input terdiri dari sensor SCD30, sensor suhu dan kelembaban yang

menjadi satu dengan sensor SCD30 dan (*Real-time Clock*) RTC DS3231, sedangkan untuk akuisisi data menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan ESP8266. Keluaran dari sistem ini menghasilkan data yang disimpan dalam *SD Card* dan dikirimkan ke Firebase IoT *platform* dengan menggunakan *wifi*. Fungsi dari masing-masing blok diatas adalah sebagai berikut.

Tabel 0.1 Daftar komponen diagram blok beserta fungsi

Sensor CO ₂	: Berfungsi untuk mengukur konsentrasi gas karbon dioksida
Sensor Suhu	: Berfungsi untuk mengukur parameter suhu udara
Sensor Kelembaban	: Berfungsi untuk mengukur parameter kelembaban udara
RTC DS3231	: Berfungi untuk menunjukkan parameter waktu pada saat pembacaan sensor
SD Card	: Berfungsi untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor dan waktu
Mikrokontroler Arduino Mega 2560	: Berfungsi untuk mengakuisisi data yang didapat dari sensor dan input sistem dan melakukan perintah sesuai dengan kinerja sistem
ESP8266	: Berfungi untuk mengirimkan data ke IoT <i>platform</i> Realtime <i>database</i> firebase.
Iot Paltform Firebase	: Berfungsi sebagai server <i>real-time</i> database
Firebase Hosting	: Berfungsi untuk melakukan <i>hosting</i> konten web yang telah dirancang.
Display	: Berfungsi untuk menampilkan informasi sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida

3.1.2 Komponen Sistem

Perancangan komponen input dari sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida meliputi pemilihan komponen yang akan digunakan dalam penelitian. Pemilihan komponen input didasarkan pada tingkat kebutuhan data yang harus dipenuhi pada sistem. Terdiri dari sensor gas karbon dioksida, sensor suhu dan kelembaban, serta data waktu. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

3.1.3 Sensor Gas Karbon Dioksida

Sensor yang digunakan adalah SCD30 dari Sensirion. Sensor ini menggunakan prinsip *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) dengan panjang gelombang sensor 4.32 μm . Sensor ini memiliki dimensi 35 x 23 x 7 mm dengan rentang pengukuran antara 400 -10.000 ppm dengan akurasi $\pm (30 \text{ ppm} +3\%)$ dengan *repeatability* $\pm 10 \text{ ppm}$.



Gambar 0.2 Sensor Gas Karbon dioksida SCD30

Untuk berkomunikasi dengan mikrokontroler sensor SCD30 menggunakan sistem komunikasi I2C (*Inter Integrated Circuit*) yang memiliki 2 pin yakni SCL (*Serial Clock line*) dan SDA. Pin SDA (*Serial DAta line*) sebagai media komunikasi data, sedangkan pin SCL digunakan untuk komunikasi *clock* atau sinkronisasi waktu. Tegangan yang dibutuhkan sensor adalah 5 V DC (*Direct Current*) yang bisa didapatkan dari pin 5 V pada mikrokontroler.

3.1.4 Sensor Suhu dan Kelembaban

Sensor suhu dan kelembaban yang digunakan, merupakan sensor yang ada di dalam sensor karbon dioksida SCD30. Sensor ini menggunakan IC (*Integrated Circuit*) sensor dari Sensirion yang memiliki spesifikasi:

Tabel 0.2 Spesifikasi sensor suhu dan kelembaban pada Sensor SDC30

No.	Komponen	Sensor Suhu	Sensor Kelembaban
1	Rentang ukur	-40 °C -70 °C	0 %RH – 100 %RH
2	Akurasi	$\pm (0.4^\circ\text{C} + 0.023 \times (T [{}^\circ\text{C}] - 25^\circ\text{C}))$	$\pm 3 \text{ %RH}$
3	<i>Repeatability</i>	$\pm 0.1 {}^\circ\text{C}$	$\pm 0.1 \text{ %RH}$
4	<i>Respon Time</i>	>10 detik	8 detik
5	<i>Drift</i>	<0.33 °C /tahun	< 0.25 %RH / tahun

Komunikasi antara sensor suhu dan kelembaban dengan mikrokontroler menggunakan pin yang sama dengan sensor gas karbon dioksida yakni I2C dengan pin SDA dan pin SCL

3.1.5 RTC (*Real-time Clock*)

Modul RTC (*Real-time clock*) DS3231 merupakan perangkat yang digunakan untuk menunjukkan waktu dimana sensor membaca data. Data waktu yang dihasilkan meliputi informasi tahun, bulan, tanggal, jam, menit, dan detik. Gambar 3.3 merupakan modul RTC DS3231.

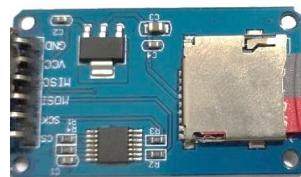


Gambar 0.3 *Real Time Clock* DS3231

Untuk menyimpan setelan waktu yang telah ditetapkan maka modul RTC memiliki catu daya sendiri. Baterai Lithium CR2032 dengan tegangan 3V menjadi sumber catu daya bagi modul RTC. Komunikasi antara mikrokontroler dan modul RTC DS1302 menggunakan komunikasi I2C dengan menggunakan pin digital pada mikrokontroler yang dihubungkan dengan pin CLK, DAT/SDA dan RST untuk reset.

3.1.6 SD Card

Komponen yang digunakan untuk menyimpan data pada sistem adalah *SD Card* yang dimasukkan ke dalam modul *Micro SD*. Data yang disimpan dalam bentuk teks dokumen dengan format txt dengan pemisal tanda koma (,). Urutan data yang disimpan adalah waktu yang terdiri dari tahun, bulan, hari, jam, menit dan

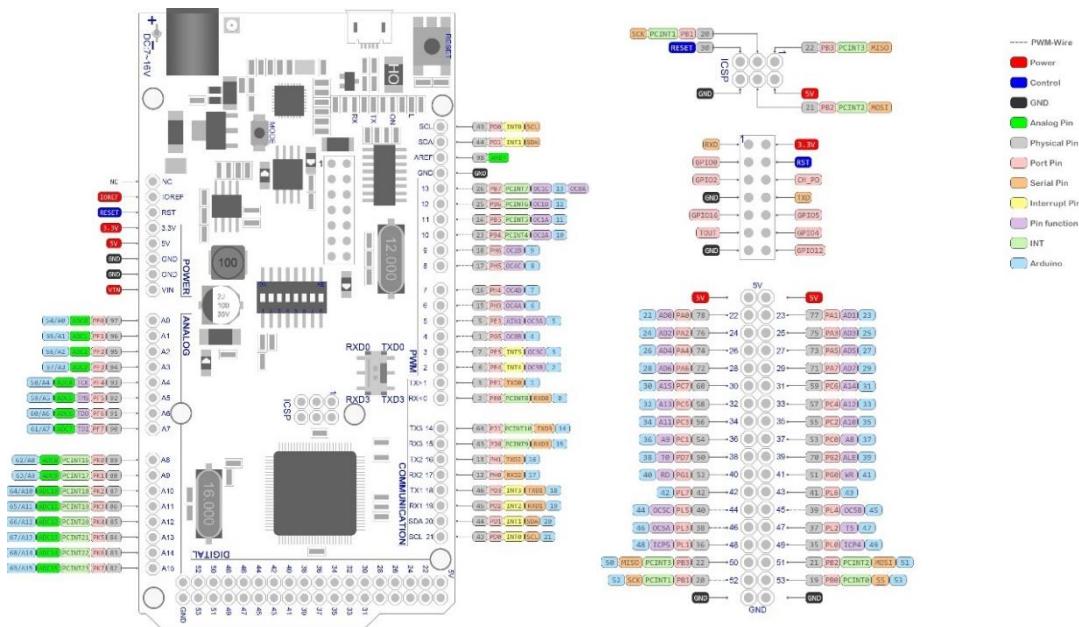


Gambar 0.4 Modul Micro SD Card

detik, kemudian dilanjutkan dengan pembacaan sensor suhu, kelembaban, dan sensor gas CO₂. Komunikasi antara Micro SD dan mikrokontroler menggunakan komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*) dengan pin MISO (*Master Output Slave Input*), MOSI (*Master Input Slave Output*) dan SCK sebagai sinkronisasi waktu.

3.2 Komponen Pemroses

Perangkat yang digunakan untuk akuisisi data yang dihasilkan oleh komponen input adalah modul mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang dilengkapi dengan modul wifi ESP8266. Arduino Mega 2560 meneggunakan *chip* dari ATmega 2560 buatan dari Atmel sedangkan ESP8266 merupakan modul yang digunakan untuk mengirimkan data melalui *wifi* buatan dari Espressif Sistem.



Gambar 0.5 Pin Out Arduino Mega2560 dan ESP8266

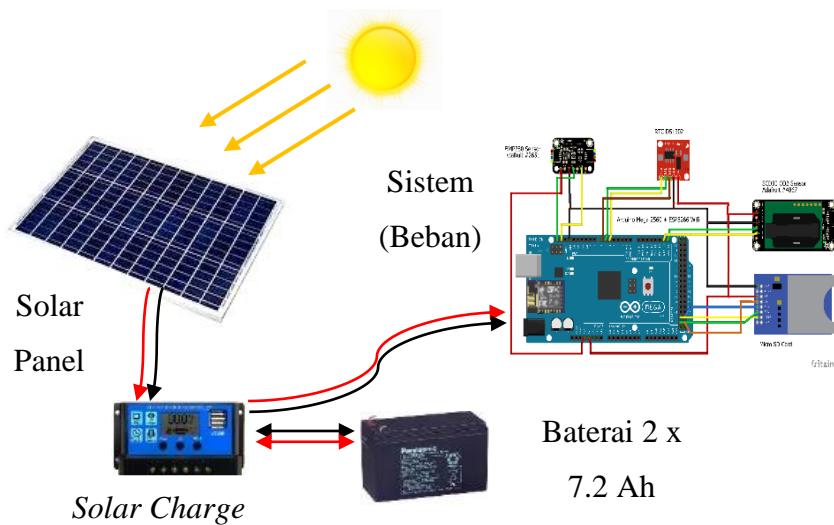
Arduino Mega 2560 dan ESP8266 merupakan modul yang berbeda, maka dalam sistem papan ini dihubungkan oleh selektor. Selektor terdiri dari 8 pin digunakan untuk memilih pin yang akan dihubungkan. Pin dari (*Universan Serial Bus*) USB serial maupun komunikasi antara Arduino Mega 2560 dan ESP8266 diatur dalam selektor pin ini. Berikut tabel komunikasi selektor antara Arduino Mega 2560, ESP 8266 dan USB Serial untuk *upload* program dari Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) ke masing masing modul.

Tabel 0.3 Konfigurasi pin selektor pada modul Arduino mega 2560 dan ESP8266

Mode	Pin Selektor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
USB Serial ke ESP8266 (Upload program)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	-
USB Serial ke ESP8266 (komunikasi)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	-
USB Serial ke ATmega2560 (Upload program)	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	-
USB Serial ke ATmega2560 COM 3 ke ESP8266	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	-
ATmega2560 + ESP8266	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	-
Semua modul bekerja sendiri	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	-

3.3 Sistem Catu Daya

Sistem catu daya pada perancangan ini menggunakan regulator, solar panel *monocrystalline*, dan baterai 12 V DC dengan kapasitas 2 kali 7,2 Ah yang menjadi penyimpan tenaga listrik. Regulator solar panel akan mengatur arus yang akan di salurkan ke beban. Dalam kondisi siang hari, maka solar *charger controller* akan mengatur daya ke beban langsung dari solar panel, dan pada keadaan malam hari dimana tidak ada sinar matahari maka daya akan diambil dari baterai. Regulator juga berperan dalam mengatur pengisian baterai.



Gambar 0.6 Desain Catu Daya Sistem

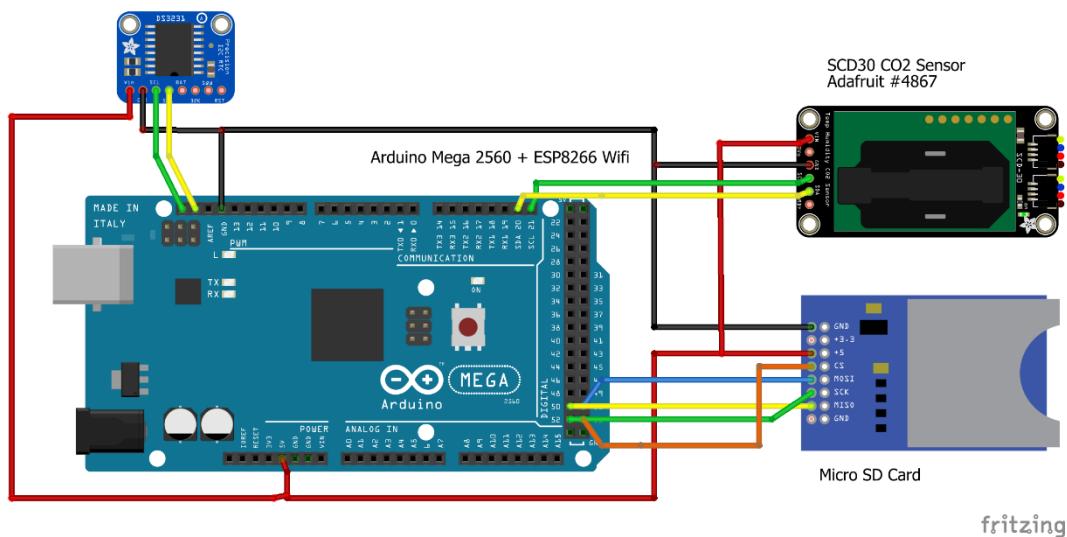
3.4 Perancangan Alat

Perancangan alat merupakan tahapan yang dilakukan setelah perancangan sensor dan pemilihan sensor. Pemasangan masing-masing komponen sesuai dengan konfigurasi pin dimaksudkan agar komponen dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki.

Tabel 0.4 Konfigurasi pin mikrokontroler ke sensor

Pin Mode Mikrokontroler	Sensor CO2 SCD30	SD card	RTC DS3231
VCC	Vin	VCC	VCC
VCC 3.3 V			
GND	GND	GND	GND
SCL/SCK	SCL	52	SCL
SDA	RX/SDA		SCK
MISO		50	
MOSI		51	
CS		53	

Tabel 3.4 menunjukkan bahwa konfigurasi pin antara komponen yang digunakan dengan mikrokontroler. Sensor gas CO₂, dan RTC DS3231 menggunakan komunikasi I2C sedangkan SD Card menggunakan komunikasi SPI. Hal ini menunjukkan bahwa dalam perancangan sistem dibutuhkan pemilihan komponen yang dapat saling berkomunikasi dan saling mengakomodasi variasi komunikasi yang dimiliki.



Gambar 0.7 Skema rangkaian perancangan sistem

Skema rangkaian dalam perancangan sistem ditunjukkan dalam gambar 3.7 dengan menggunakan sensor gas karbon dioksida, suhu dan kelembaban SCD30, RTC DS3231 dan SD Card.

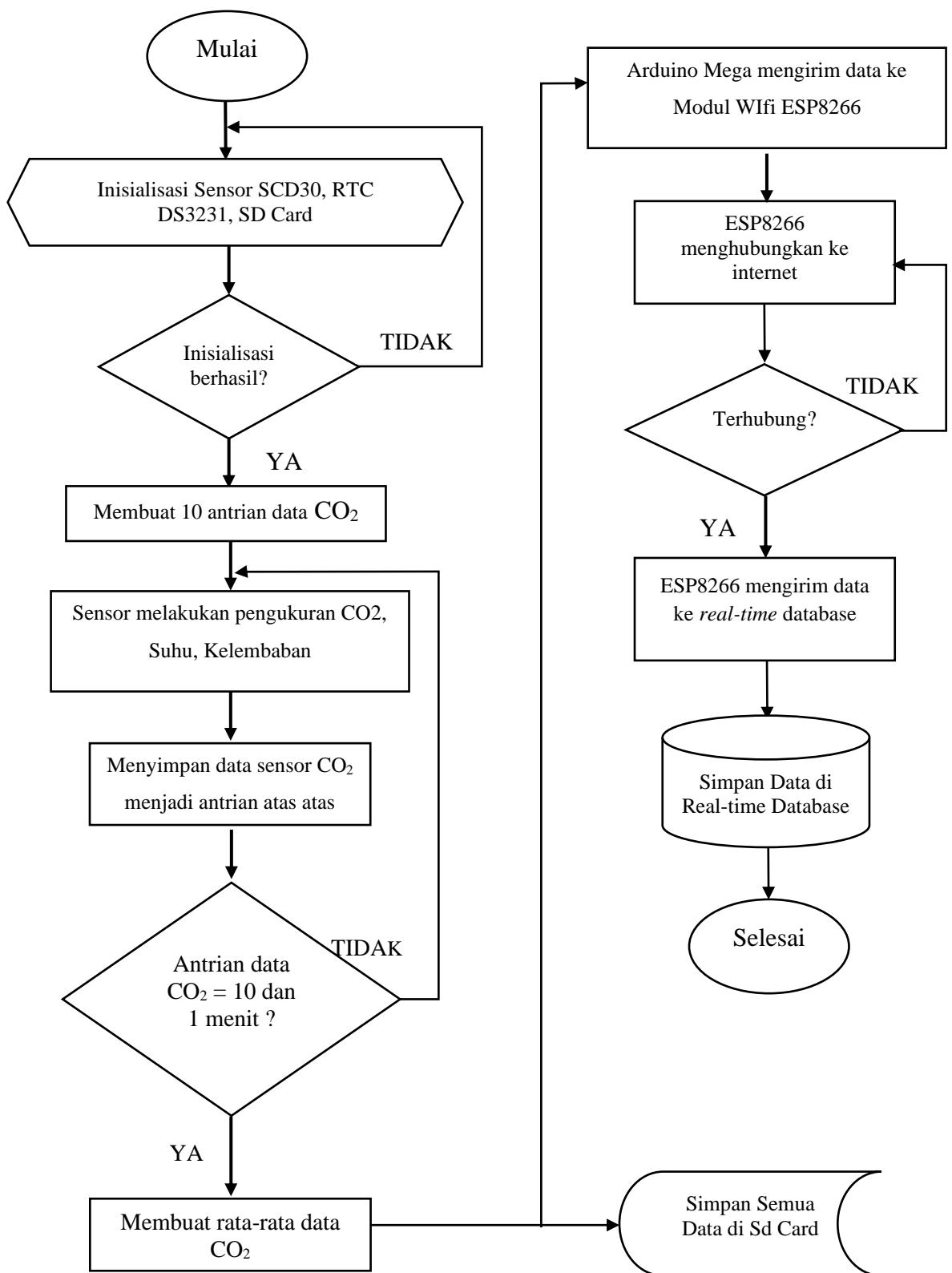
3.5 Perancangan Perangkat Lunak

3.5.1 Flowchart Perangkat Lunak

Perancangan program pada mikrokontroler Arduino Mega 2560 dan ESP8266 yang digunakan untuk akuisisi data dari sensor SCD30 serta modul RTC dan Modul *SD Card* sehingga kombinasi antar modul dan mikrokontroler dapat mengirimkan data ke *real-time* database.

Gambar 3.8 menunjukkan alur sistem, dimulai dengan inisialisasi seluruh parameter dan komponen yang ada. Apabila inisialisasi tidak berhasil, maka sistem tidak akan melanjutkan, melainkan data akan kosong. Proses selanjutnya adalah membuat antrian 10 data yang digunakan untuk *moving average* bagi data CO₂ dari sensor SCD30. Sensor SCD30 membaca data setiap 6 detik. Pengaturan dilakukan pada sensor setelah dilakukan kalibrasi sensor. Data rata-rata tersebut yang nantinya akan menjadi data 1 menit an. Sensor akan melakukan pengukuran parameter karbon dioksida, suhu dan kelembaban setiap 1 menit.

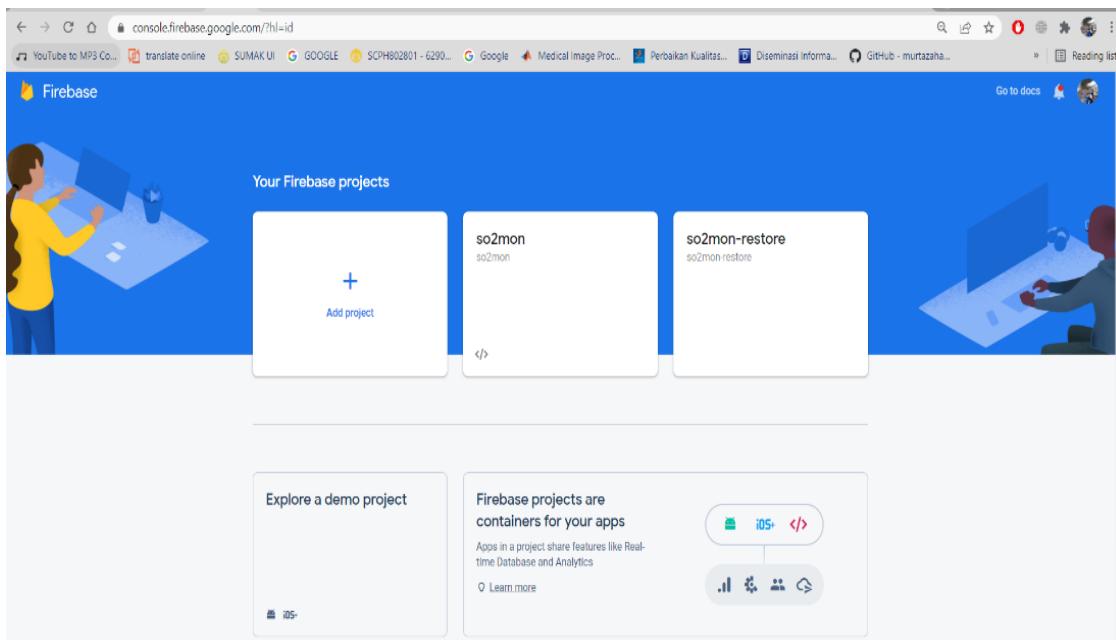
Data yang sudah diukur kemudian ditambahkan variabel waktu kemudian di simpan di dalam SD Card. Data hasil pembacaan sistem juga dikirim secara serial ke ESP8266 dengan melakukan pengaturan pada selektor yang ada pada papan mikrokontroler. Data yang diterima pada modul ESP8266 data di lakukan parsing dan ESP8266 akan memberikan data waktu dimana data akan dikirim. Data waktu diambil dari NTP (*Network Time Protocol*) server. Data yang dikirim ke realtime database Firebase terdiri dari 2 *path*, yaitu *path* untuk data 1 menit an dan *path* untuk data 10 menit an. Masing-masing *path* masih dalam satu *parent path*. Data 1 menit langsung dikirim sedangkan data 10 menit an merupakan data 1 menit yang dikirim per 10 menit. Data 10 menit digunakan sebagai *display* sistem pengamatan karena untuk data 1 menit fluktuasinya terlalu besar.



Gambar 0.8 Diagram alir sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida

3.5.2 Perancangan Realtime Database Firebase

Firebase adalah suatu layanan dari google yang dapat mempermudah pengembang aplikasi tanpa memikirkan backend dari suatu sistem. Layanan firebase digunakan secara gratis atau berbayar sesuai dengan pemakaian. Firebase memiliki berbagai macam fitur yang dapat digunakan penggunanya sesuai dengan kebutuhan.

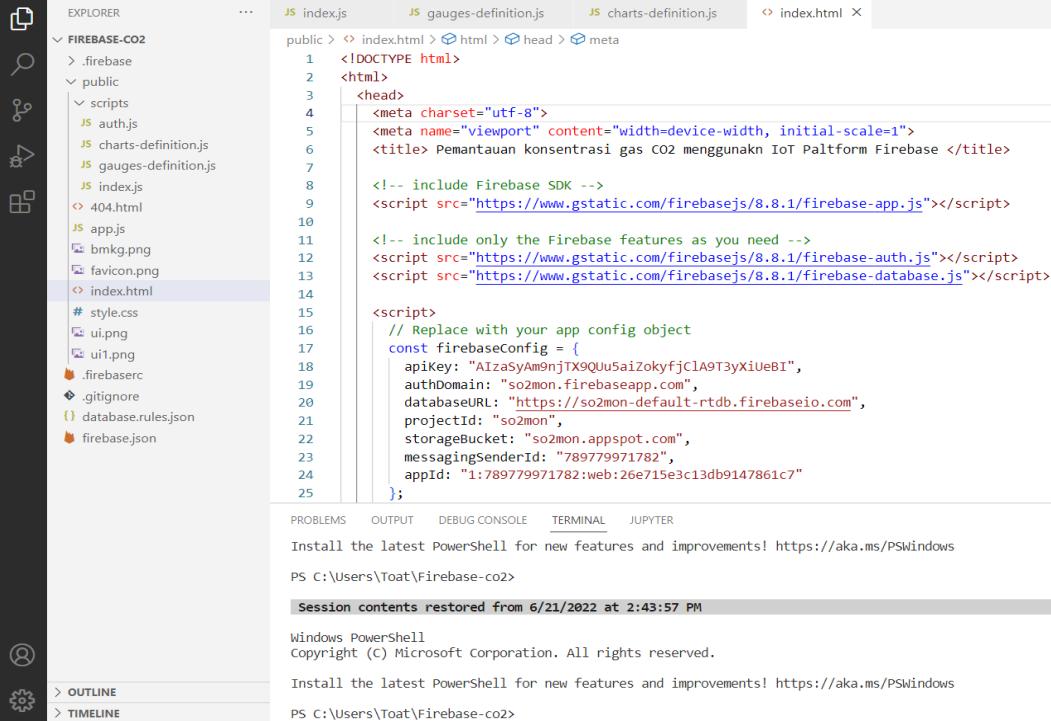


Gambar 0.9 Tampilan awal IoT Platform Firebase

Fitur firebase yang digunakan pada perancangan sistem ini adalah *real-time* database dan Firebase *hosting*. Firebase *real-time* database merupakan *database* yang disimpan di *cloud* dalam bentuk JSON sehingga pengguna dapat mengakses database secara *real-time* di semua perangkat yang terhubung. Firebase *hosting* adalah fitur yang dapat menampilkan konten yang mendukung pengembangan aplikasi berbasis web dari HTML, CSS hingga API. Firebase realtime database digunakan untuk menyimpan data yang dikirim dari sensor, baik data 1 menit ana ataupun data 10 menit an. Firebase hosting digunakan unutk merancang web display. Setelah di lakukan *deploy* pada firebase hosting, maka pengguna dapat mengakses web pemantauan dimana saja.

3.5.3 Perancangan Display Pengguna

Display pengguna dalam perancangan sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida menggunakan fitur firebase hosting. Perancangan dilakukan di *software* Visual Studio Code dengan menggunakan *command line interface* (CLI) untuk membuat direktori lokal yang akan manampung file-file yang akan disimpan. Dalam direktori lokal penulis harus file HTML, file css dan json yang kemudian akan di *deploy* dengan firebase hosting.



The screenshot shows the Visual Studio Code interface with the following details:

- EXPLORER:** Shows the project structure under `FIREBASE-CO2`, including files like `.firebase`, `public`, `scripts`, `index.html`, `app.js`, and configuration files (`database.rules.json`, `firebase.json`, `.gitignore`).
- EDITOR:** Displays the `index.js` file content, which includes the following code snippet for Firebase configuration:

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html>
3   <head>
4     <meta charset="utf-8">
5     <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
6     <title> Pemantauan konsentrasi gas CO2 menggunakan IoT Platform Firebase </title>
7
8     <!-- include Firebase SDK -->
9     <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1.firebaseio-app.js"></script>
10
11    <!-- include only the Firebase features as you need -->
12    <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-auth.js"></script>
13    <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/8.8.1/firebase-database.js"></script>
14
15    <script>
16      // Replace with your app config object
17      const firebaseConfig = {
18        apiKey: "AIzaSyAmn9jTx9Qu5aiZokyfjC1a9T3yXiUeBI",
19        authDomain: "so2mon.firebaseioapp.com",
20        databaseURL: "https://so2mon-default-rtbd.firebaseio.com",
21        projectId: "so2mon",
22        storageBucket: "so2mon.appspot.com",
23        messagingSenderId: "789779971782",
24        appId: "1:789779971782:web:26e715e3c13db9147861c7"
25      };

```

- TERMINAL:** Shows the command prompt output for PowerShell, indicating the latest version is installed and the current directory is `PS C:\Users\Toat\Firebase-co2`.

Gambar 0.10 Perancangan antarmuka pengguna dengan Virtual Studio Code

Setelah melalui proses *hosting*, maka *web* pemantauan sistem akan bisa diakses dimana saja. Sehingga penulis dapat memantau sistem dengan mudah.

3.6 Peningkatan Kualitas Data

Peningkatan kualitas data meliputi deteksi data penciran dengan *Local Outliers Factor* (LOF), dan *moving average* dengan Savitzky-Golay yang diperoleh dari *low-cost* sensor. Peningkatan kualitas dimaksudkan untuk meningkatkan akurasi *low-cost* sensor menjadi lebih baik.

Pada proses deteksi data penciran dengan LOF, parameter yang ditentukan dalam menggunakan LOF adalah menentukan jumlah *k-neighbors* yang jumlahnya harus lebih besar dari nilai minimum *sampel* yang harus dimiliki klaster. Sebuah

data akan menjadi data pencilan relatif terhadap klaster tertentu. *k-neighbour* juga harus lebih kecil dari jumlah maksimum sampel terdekat yang berpotensi menjadi data pencilan lokal. Perhitungan dilakukan dengan Python dengan Library dari scikit.learn dan Modul LocalOutlierFactor. Penentuan jumlah *n-neighbour* dan *contamination* dilakukan dengan melakukan percobaan ke salah satu data mentah. Penentuan diakukan dengan kombinasi antara *n-neighbour* dan *contamination* dari 10, 20, 30 *n-neighbour* dan 0.1, 0.2, 0.3 untuk *contaminantion*.

Proses *filtering* dengan filter Savitzky-Golay dilakukan untuk mengurangi *ripple* pada data sehingga dapat meningkatkan nilai RMSE dan R² dari data mentah. *Filtering* dilakukan dengan library scipy.signal dan modul savgol_filter. Parameter yang ditentukan adalah window_length = 10, polyorder = 2.

Peningkatan Kualitas data dalam perancangan sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida juga dilakukan dimaksudkan untuk meningkatkan akurasi *low-cost* sensor yang digunakan. Dengan akurasi spesifikasi teknis sensor sebesar $\pm (30 \text{ ppm} + 3\%)$, dengan menggunakan Algoritma LOF dan *moving average* menggunakan Savitzky-Golay diharapkan mampu memenuhi tujuan untuk meningkatkan akurasi

3.7 Metode Pengujian

Tahapan pengujian alat dilakukan dilakukan setelah tahapan perancangan dan perakitan selesai dilakukan. Tahap ini akan membandingkan hasil pengolahan data dengan data dari alat pembanding

3.7.1 Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi pengujian sensor, pengujian komunikasi, pengujian *real-time* database, dan pengujian display. Metode yang digunakan untuk menguji sensor dan sistem adalah uji komparasi langsung dengan alat pembanding. Komparasi dilakukan unutk mengetahui kinerja sensor dan sistem dibandingkan dengan sistem standar yang nilai pembacaannya tertelusur. Pengujian sistem komunikasi untuk mengetahui kinerja komunikasi antara sistem dengan realtime database, sekaligus juga unutk menguji *database*. Pengujian antarmuka pengguna dimaksudkan unutk mengetahui kegunaan dan fungsi masing-masing bagian dari display pengguna.

3.7.2 Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini, indikator pengukuran dilakukan untuk menguji suatu sistem apakah memiliki hasil yang mendekati dengan peralatan yang menjadi acuan dari sistem. Untuk mengetahui tingkat kesalahan dalam komparasi dengan alat standar maka digunakan persamaan MAE (*Mean Absolut Error*). Korelasi antara alat yang menjadi acuan dengan sistem yang dikembangkan menggunakan koefisien korelasi (r). Koefisien korelasi digunakan untuk mengukur derajat keeratan antar dua variable. Nilai koefisien korelasi berkisar antara -1 sampai +1. Apabila koefisien korelasi bernilai positif, maka hubungan kedua variable searah, dan apabila negatif, maka hubungan dua variabel terbalik. Semakin mendekati 1 (besar) maka ubungan antar variable semakin kuat, dan mendekati 0 maka hubungannya semakin lemah. Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk menjelaskan pengaruh suatu variabel (x) terhadap variasi naik turunnya variable lain (y). Nilai nya antara 0 sampai dengan 1, semakin mendekati 1 artinya semakin besar pengaruh variabel terhadap variabel lainnya. dan *Root Mean Square* untuk megetahui kesalahan antara sensor dan sistem acuan.

Tabel 0.5 Indikator pengujian sistem

Parameter	Formula
MAE (<i>Mean Absolut Error</i>)	$MAE = \frac{\sum_{x=1}^n x - y }{n}$
Koefisien korelasi (r)	$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$ Dimana: $x = (X_i - \bar{X})$ $y = (Y_i - \bar{Y})$
Koefisien determinasi (R^2)	$R^2 = 1 - \frac{\sum (x_i - y_i)^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$
RMSE (<i>Root Mean Square Error</i>)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$

3.8 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada dua lokasi. Penelitian dilakukan selama kurang lebih 6 bulan dimulai sejak studi literatur dilakukan. Tahapan berikutnya adalah pengajuan proposal penelitian. Setelah disetujui dengan beberapa catatan selanjutnya sistem dirancang dan diimplementasikan sampai dengan selesai. Pengambilan data dimulai dari tanggal 3 Juni 2022 sampai dengan tanggal 22 Juni 2022. Pengolahan data dan evaluasi dilakukan secara paralel seiring pengujian sistem dilakukan hingga penelitian selesai dilakukan.

Tempat penelitian dilakukan di rumah, Pancoran Mas, Depok dan Kantor BMKG di Kemayoran, Jakarta Pusat. Pengujian sistem dilakukan di kantor BMKG Kemayoran dengan alat pengamatan konsentrasi gas karbon dioksida yang menggunakan prinsip NDIR dengan tipe Thermo 410i. Pengolahan data dilakukan di rumah di pancoran Mas depok

3.9 Implementasi Sistem

3.9.1 Implementasi Sistem

Bagian ini menjelaskan tentang implementasi perancangan sistem Pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida dan peningkatan kualitas data. Implementasi dapat dilihat dari bagian sistem perangkat keras, bagian database dengan menggunakan firebase dan bagian antarmuka berbasis web.

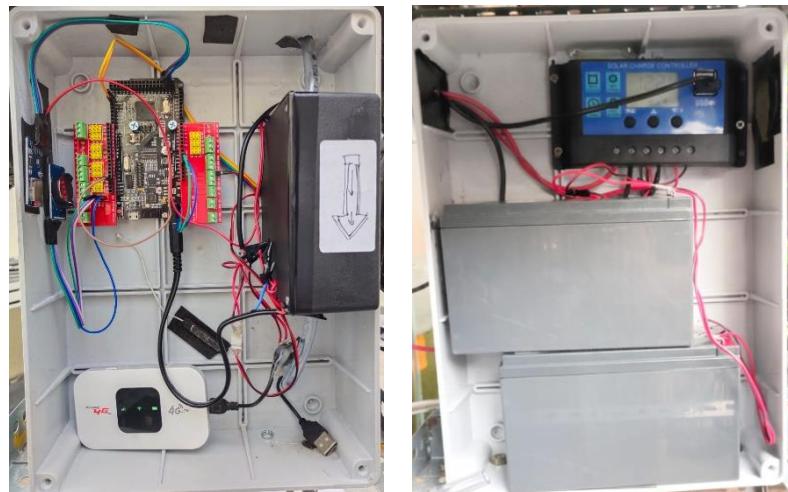
Perangkat keras sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida terdiri dari 2 bagian yang pertama adalah bagian modul *power* dan yang kedua adalah bagian sistem yang terdiri dari mikrokontroler dan sensor. Adapun komponen yang di gunakan adalah:

Tabel 0.6 Daftar Komponen sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida

No	Komponen	Tipe
1	Mikrokontroller	Arduino Mega Robot Dyn
2	Sensor Gas CO2	SCD30
3	Sensor Tekanan	BMP280
4	RTC	DS3231

5	SD Card+ Housing	Sandisk
6	Box Enclosure	Durabus MG 150x150x60
7	Box Sensor	
8	Kipas	
9	<i>Solar Panel</i>	<i>Monocrystalline 20 WP</i>
10	<i>Solar Charge Controller</i>	SCC PWM 20 A
11	Dudukan Enclosure	Besi lubang
12	Modem WIFI	Mifi Telkomsel 4G

Masing-masing modul ditempatkan pada kotak yang berbeda. Hal ini untuk memudahkan apabila ada perbaikan atau penyesuaian sistem. Masing-masing kotak ditempatkan ke dalam dudukan yang terbuat dari besi yang dibuat sedemikian rupa sehingga bisa menanpung kedua kotak sistem yang di atasnya dilengkapi dengan *solar panel*. Kotak sensor yang berisi sensor dan mikrokontroler memiliki selang yang berfungsi untuk mengalirkan udara dari luar yang akan dibaca oleh sensor. Udara akan digerakkan oleh kipas DC 5V yang akan menarik udara.



Gambar 0.11 Implementasi sistem dan catu daya

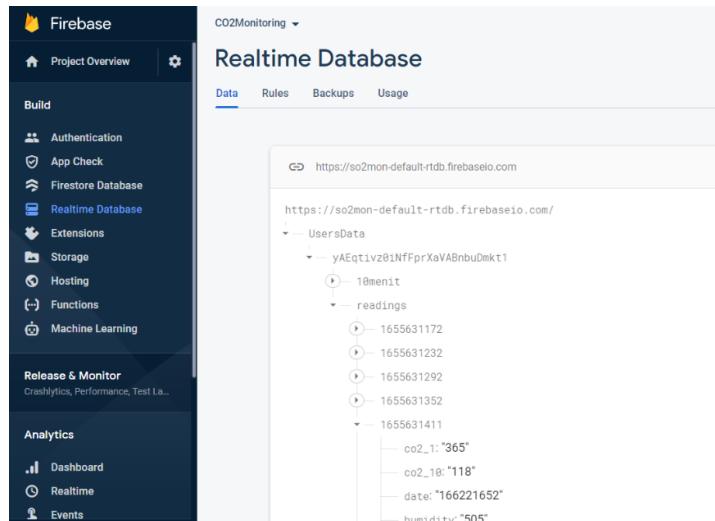
Setelah semua komponen dirakit sesuai dengan *port* dan fungsinya masing-masing, selanjutnya melakukan pemrograman mikrokontroler Arduino Mega Robot Dyn menggunakan software Arduino IDE. Pemrograman pertama dilakukan pada

modul Arduino Mega 2560 untuk dapat membaca data dari sensor, membaca data waktu dari RTC dan juga menyimpan data yang dihasilkan ke dalam Sd Card. Arduino Mega 2560 juga akan mengirimkan data ke modul ESP8266 dengan menggunakan komunikasi serial. Modul Ardiuno Mega 2560 dan ESP 8266 terletak pada 1 papan mikrokontroler yang dihubungkan dengan slektor. Selektor digunakan untuk menentukan komunikasi antar mikrokontroler dan komunikasi dengan laptop untuk memprogram modul mikrokontroler.

Mikrokontroler Arduino Mega 2560 membaca sensor CO₂ SCD30 dengan interval 6 detik dan membuat rata-rata untuk 1 menit. Sensor suhu dan kelembaban masing-masing dibaca setiap 1 menit. Data disimpan kedalam *Sd Card* yang sebelumnya telah dilengkapi dengan metadata waktu. Data 1 menit juga dikirimkan ke ESP 8266. Dalam ESP8266 data di *parsing* dan kemudian akan ditambah dengan parameter waktu dari NTP (*Network Time Protocol*) server yang kemudian akan dikirimkan ke server google firebase dengan 1 menit data dan 10 menit an data. Data 1 menit an dan data 10 menit an akan tersimpan pada 1 *Parent Path* yang sama akan tetapi pada *Database Path* yang berbeda. Hal ini digunakan agar mudah dalam mengklasifikasikan data 1 menit an dan data 10 menit an. Pengujian masing tahapan dilakukan dengan melakukan pengecekan pada serial monitor pada *software* Arduino IDE. Pengecekan data yang masuk ke firebase *real-time* database dilakukan dengan melihat firebase *konsol* pada halaman firebase.

3.9.2 Implementasi Database Dengan Firebase Realtime Database

Bagian ini menjelaskan tentang implementasi perancangan database dan antarmuka dengan menggunakan IoT *platform* Firebase dari Google. Tahapan dimulai dengan melakukan pendaftaran di firebase.google.com dengan *browser*. Pengguna harus menggunakan *user id* Gmail untuk melakukan *login*. Tahap berikutnya adalah melakukan pembuatan proyek yang akan digunakan untuk menyimpan data. Kemudian mengaktifkan fitur firebase realtime database. Pada halaman *Project setting* kita akan mendapatkan API (*Application Program Interface*) *Key* dan database URL (*Uniform Resource Locators*) yang dapat digunakan untuk mengakses *real-time* database dari sistem.

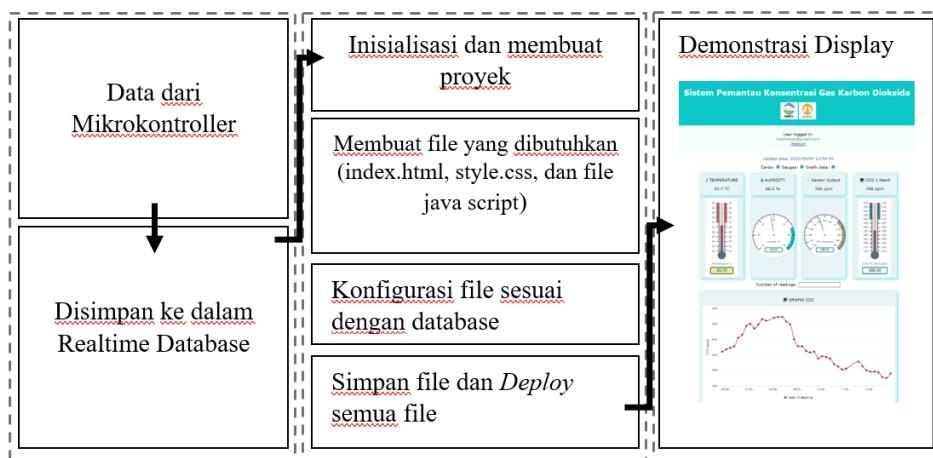


Gambar 0.12 Data disimpan dalam realtime database di Firebase

API key adalah sebuah kode unik yang berfungsi untuk memberikan akses *login* dan menghubungkan kode dari pengembang satu ke pengembang lainnya. API key berguna dalam proses autentikasi ketika API akan dijalankan. Data disimpan ke dalam realtime database terdiri dari dua *path* yakni data 1 menit dan data 10 menit.

3.9.3 Implementasi *Display* Dengan Firebase Hosting

Display dirancang untuk menampilkan data hasil pembacaan dari sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida. Terdiri dari bagian *cards* yang menampilkan nilai pembacaan sistem, *gauges* yang menunjukkan visual dari nilai yang terbaca, grafik yang menunjukkan data dalam bentuk grafik dan tabel yang menunjukkan data pada dalam bentuk tabel. *Display* ini dibuat dengan menggunakan fitur dari Firebase yaitu firebase hosting.



Gambar 0.13 Proses implementasi *display* dengan firebase hosting

Penulis membuat file yang diperlukan menggunakan software Visual Studio Code. File yang diperlukan diantaranya index.html yang digunakan untuk menampilkan variable yang diperoleh dari database, index.js menghubungkan variable yang ada pada index.html ke database, style.css yang mengatur tampilan pada display dan chart-definition.js, gauges-definition.js, auth.js yang mengatur masing-masing desain grafik, mengatur *gauges* dan mengatur autentifikasi *login*. Setelah semua file dikumpulkan dan disimpan dalam satu folder, maka Langkah selanjutnya adalah melakukan *deploy* di firebase di terminal VS Code

Pada *display* sistem pemantauan konsentrasi gas karbo dioksida, penulis menempatkan 4 hal yang akan ditampilkan yakni, suhu, kelembaban, data sensor gas karbon dioksida satu menit dan data sensor karbon dioksida 10 menit. Data yang ditampilkan dikirim langsung dari mikrokontroller. Dari informasi yang terdapat pada *display* sistem dapat menginformasikan kepada pengguna tentang informasi gas karbon dioksida.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab 4 ini akan dibahas mengenai pengujian sistem yang dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sebuah sistem. Pengujian di lapangan dengan menggunakan alat pembanding dari. Dari hasil yang dilakukan bahwa hasil pembacaan sensor dan sistem peningkatan kualitas data dapat memenuhi tujuan dalam penelitian ini.

4.1 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan. Hasil pembacaan sistem berupa data yang dihasilkan, dapat dikirim ke *real-time* database, disimpan ke dalam *SD Card* dan disajikan ke dalam *display*. Setelah dilakukan implementasi masing-masing bagian dari sistem, sistem dilakukan pengujian di BMKG Pusat Kemayoran. Pengujian dilakukan di atas Gedung C. Sistem didekatkan dengan inlet alat standar yang digunakan sebagai upaya mendapatkan hasil yang sesuai.



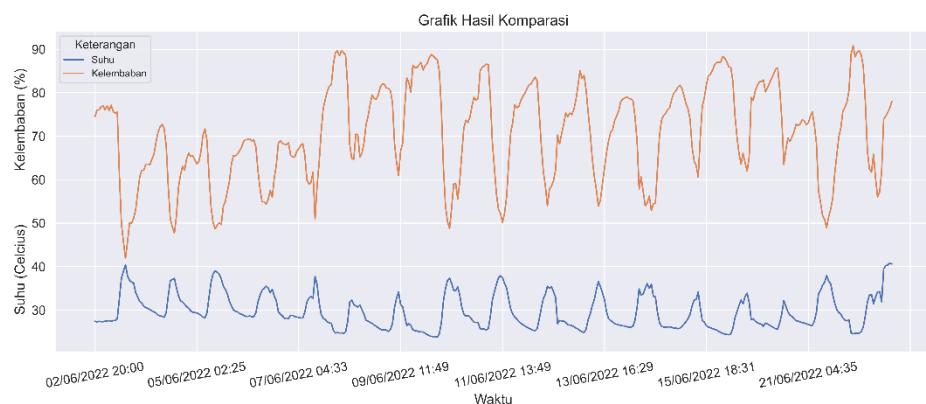
Gambar 0.1 Pemasangan sistem komparasi dengan sensor standar
Sistem dipadang dengan dudukan dengan ketinggian sekitar 60 cm untuk menghindari genangan dan percikan air. Pengujian dilakukan dengan

membandingkan peralatan standar dengan menggunakan peralatan Standar Thermo Model 410i dari Thermo Electron Corporation. Hal ini dikarenakan untuk melakukan kalibrasi sensor pada set point tertentu masih menggunakan gas standar yang tersedia. Adapun cara melaukan komparasi adalah dengan memasang peralatan sedekat mungkin sehingga diharapkan sampel udara yang diukur adalah homogen. Pengujian dilakukan selama 20 hari dari tanggal 02 Juni 2022 sampai dengan tanggal 23 Juni 2022. Berikut perbandingan spesifikasi antara alat yang dibandingkan:

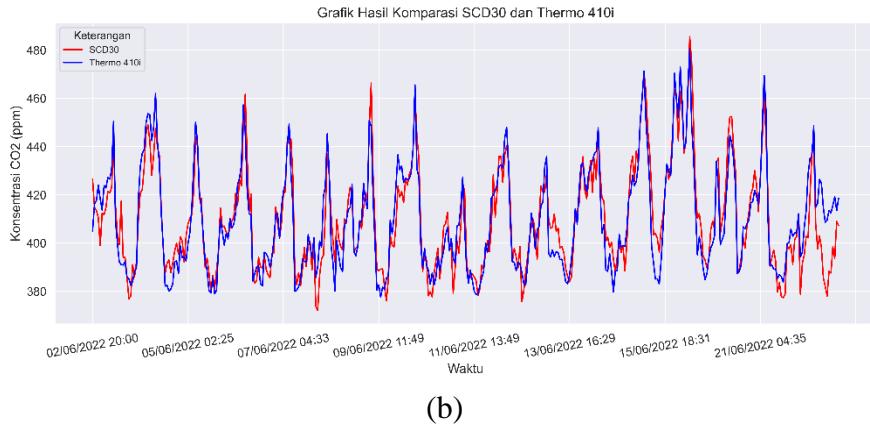
Tabel 0.1 Perbandingan spesifikasi teknis sensor SCD30 dan Thermo 410i

No.	Parameter	SCD30	Thermo 410i
1	Rentang ukur	0-40000 ppm	0-200,500,1000,2000, 10000 ppm
2	Zero noise		0.5 ppm RMS (60 second averaging time)
3	Akurasi	$\pm 30 \text{ ppm} +3\% \text{ pembacaan}$	
4	Zero drift (24 hour)		$\pm 1 \text{ ppm}$
5	Span drift (24 hour)		$\pm 2\% \text{ span concentration}$
	Resolusi	1 ppm	0.01 ppm
6	Linearity		$\pm 1.5\% \text{ of span (at concentrations of 10 to 100\% of span)}$
7	Suhu kerja	0-50 °C	5-45 °C
8	Repetability	$\pm 10 \text{ ppm}$	

Pada proses komparasi mula-mula melakukan pengaturan seluruh parameter akan dilakukan. Dimulai dengan melakukan *single point offset* untuk suhu, melakukan *set measurement interval* selama 2 detik untuk melakukan *Force Recalibration Reference*, kemudian melakukan set altitude offset dan melakukan *set ambient*



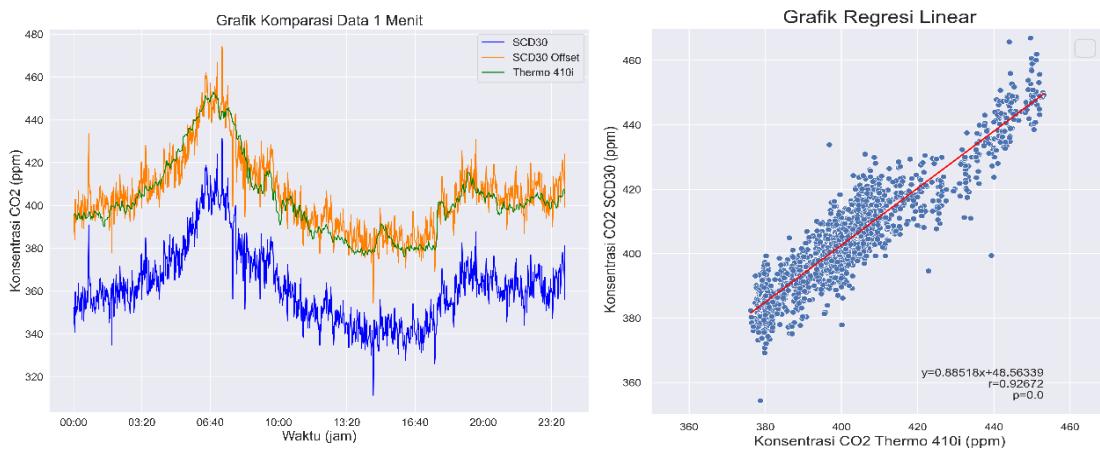
(a)



Gambar 0.2 (a) Grafik suhu dan kelembaban pada pengujian sistem, (b) Grafik sensor SCD30 dan sistem Thermo 410i

pressure pada sensor. Sensor SCD 30 dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban, tetapi tidak dengan sensor tekanan. Komparasi dengan alat standar dilakukan dengan membandingkan data yang dihasilkan setiap 1 menit. Untuk data 10 menit dan data 1 jam, pembacaan diperoleh dari data 1 menit. Dari hasil komparasi akan mendapatkan nilai koreksi antara alat yang diuji dan alat standar.

Gambar 4.2 (a) menunjukkan grafik suhu dan kelembaban selama pengujian sistem dan gambar 4.2 (b) menunjukkan hasil komparasi antara sensor SCD30 dan alat Thermo 410i dengan data per 1 jam. Pengolahan data dilakukan secara harian untuk mengetahui pola harian konsentrasi gas karbon dioksida. Komparasi dilakukan dengan menggunakan data 1 menit an.



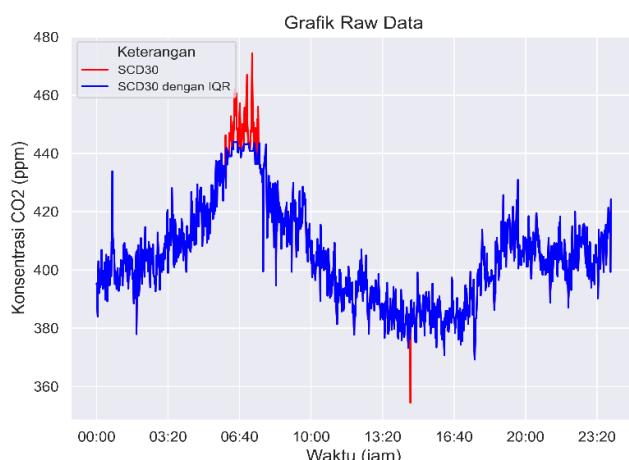
Gambar 0.3 Komparasi data konsentrasi gas CO₂ antara SCD30 dan Thermo 410i

Hasil komparasi dengan data 1 menit dapat dilihat pada grafik 4.3. Berdasarkan komparasi selama 1 hari pada tanggal 05 Juni 2022 keluaran sensor

SCD30 yang belum dilakukan *offset* maka memiliki koreksi sebesar 43 ppm, sehingga perlu dilakukan *offset*. Gambar 4.3 diatas menunjukkan hasil komparasi sistem dengan *low-cost* sensor dengan peralatan standar Thermo 410i yang digunakan untuk operasional di BMKG Pusat. Sumbu x menunjukkan waktu pengamatan dalam 1 hari, sedangkan sumbu y menunjukkan konsentrasi gas karbon dioksida dalam ppm. Grafik menunjukkan nilai hasil komparasi antara sistem *low-cost* sensor dengan sistem pembanding sebelum dan sesudah dilakukan *offset*. Nilai koreksi rata-rata yaitu 5.7 ppm. Apabila dilihat polanya, maka grafik antara alat yang diuji dan alat standar Thermo 410i memiliki pola yang sama. Berdasarkan perhitungan koefisien korelasi (*r*) yang didapatkan dalam pengujian adalah 0.92. Sebaran data yang dihasilkan mempunyai nilai koefisien determinasi (R^2) dengan nilai 0.84

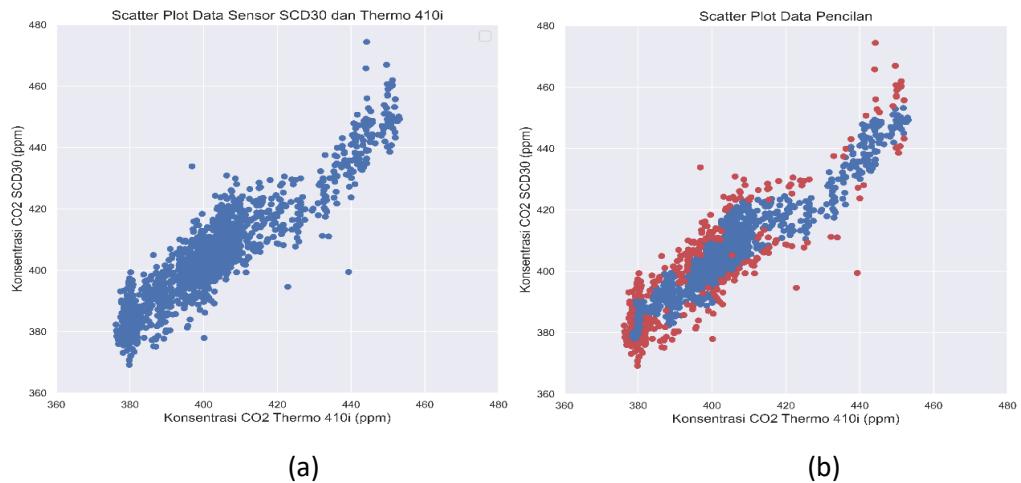
4.2 Pengujian Deteksi Data Pencilan

Dalam pembahasan sebelumnya telah dilakukan pengujian data sebelum dan sesudah dilakukan *offset*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik data pencilan yang terdapat pada data mentah sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida perlu untuk dihilangkan. Tujuan dari identifikasi data pencilan adalah untuk memperbaiki data mentah yang ada sehingga memiliki tingkat kemiripan dengan data yang dimiliki oleh sistem di BMKG. Data pencilan bisa terjadi karena faktor dari sensor maupun faktor statistik lainnya. Pengujian identifikasi data pencilan dilakukan dengan *Local Outlier Factor* (LOF). Deteksi data pencilan menggunakan metode *Inter Quartil Range* (IQR) tidak mampu menghapus data pencilan, dikarenakan pola data pencilan yang bersifat lokal.



Gambar 0.4 Deteksi data pencilan dengan *Inter Quartil Range* (IQR)

Deteksi data pencilan dilakukan menggunakan IQR tidak dapat mendetski data pencilan lokal, sehingga penulis menggunakan deteksi data pencilan menggunakan *Local Outliers Factor* (LOF). Deteksi data pencilan dengan LOF dilakukan dengan beberapa tahap.



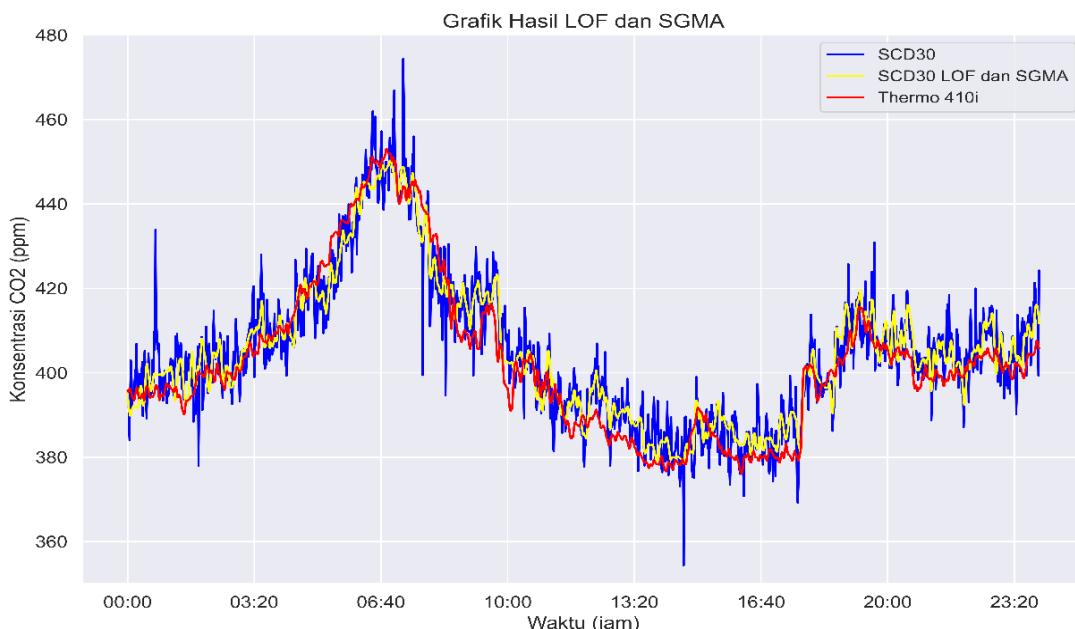
Gambar 0.5 Deteksi data pencilan dengan LOF (a). Sebelum di deteksi (b) Setelah deteksi

Gambar 4.5 diatas menunjukkan proses deteksi data pencilan menggunakan LOF. Gambar 4.5 a menunjukkan plot data sensor SCD30 yang belum dilakukan deteksi data pencilan, dan gambar 4.5 b data pencilan ditandai oleh titik berwarna merah. Deteksi data pencilan dilakukan dengan menggunakan *library* dari scikit.learn dengan modul LocalOutliersFactor. Factor yang mempengaruhi dalam deteksi data pencilan menggunakan LOF adalah *n-neighbour* yaitu jumlah n tetangga terdekat dan *contamination* yang berarti prakiraan jumlah pencilan. Penentuan jumlah *n-neighbour* dan *contamination* dilakukan dengan melakukan percobaan ke salah satu data.

Tabel 0.2 Penentuan nilai *n-neighnour* dan *contamination* pada LOF

No	RMSE		MAE		R ²		<i>n-neighnour</i>	<i>contaminantion</i>
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah		
1	7,26	6,28	5,73	5,03	0,84	0,88	10	0,1
	7,26	6,26	5,73	5,06	0,84	0,88	10	0,2
	7,26	6,28	5,73	5,13	0,84	0,88	20	0,1
	7,26	5,85	5,73	4,77	0,84	0,89	20	0,2
	7,26	6,22	5,73	5,04	0,84	0,88	30	0,1
	7,26	5,91	5,73	4,83	0,84	0,89	30	0,2

Penentuan diakukan dengan kombinasi antara *n-neighbour* dan *contamination* dari 10, 20, 30 *n-neighbour* dan 0.1, 0.2, 0.3 untuk *contaminantion*. Dari tabel 4.2, penulis menentukan parameter *n-neighbour* 20 dan *contamination* 0.2. Setelah dilakukan deteksi data pencilan, maka data pencilan tersebut akan digantikan dengan data sebelumnya. Setelah dilakukan deteksi data pencilan maka data akan dilakukan moving average dengan *Savitzky-Golay Moving Average* (SGMA). SGMA dilakukan dengan library `scipy.signal` dan modul `savgol_filter`. Parameter yang ditentukan adalah `window_length = 10`, `polyorder = 2`.

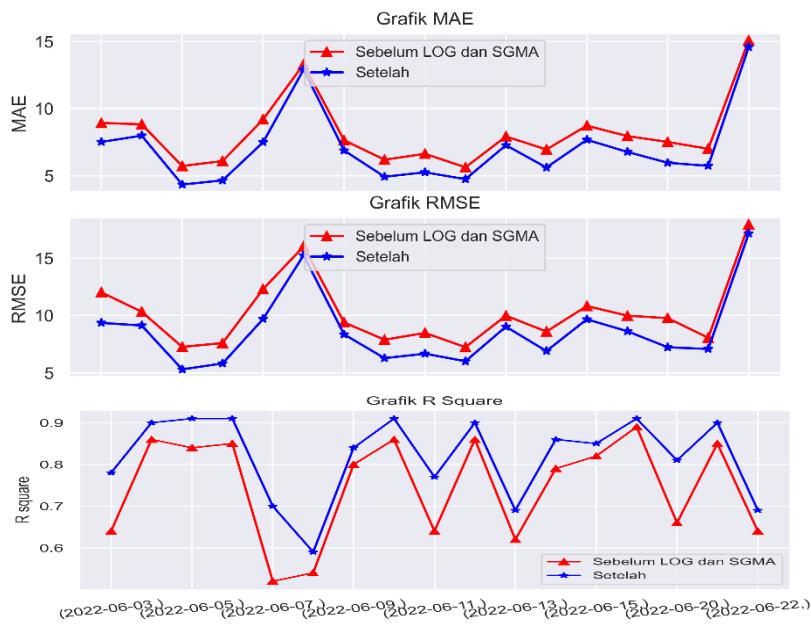


Gambar 0.6 Grafik sebelum dan sesudah dilakukan *Local Outliers Factor* dan *Savitzky-Golay Moving Average*

Gambar 4.6 menunjukkan grafik antara data sensor SCD30 sebelum dan sesudah dilakukan LOF dan SGMA. Dapat dilihat bahwa setelah dilakukan deteksi data pencilan dan *moving average* data yang sebelumnya terdapat banyak *ripple* menjadi lebih halus. Data pencilan local yang sebelumnya tidak terdeteksi dengan IQR (gambar 4.4), maka akan terdeteksi oleh LOF (gambar 4.6) dengan garis warna kuning. Grafik pada gambar 4.6 adalah data harian pada tanggal 5 Juni 2022. Indikator hasil pengukuran pada tabel dibawah menunjukkan peningkatan kualitas data.

Tabel 0.3 Indikator peningkatan kualitas data (A) sebelum dilakukan deteksi data pencilan dan *moving average*, (B) setelah dilakukan deteksi data pencilan dan *moving average*

No	Hari	RMSE		MAE		R^2	
		A	B	A	B	A	B
2	03/06/2022	12,03	9,36	8,94	7,52	0,64	0,78
3	04/06/2022	10,33	9,13	8,83	7,99	0,86	0,9
4	05/06/2022	7,26	5,3	5,73	4,35	0,84	0,91
5	06/06/2022	7,6	5,82	6,1	4,66	0,85	0,91
6	07/06/2022	12,3	9,7	9,2	7,5	0,52	0,7
7	08/06/2022	16,03	15,26	13,3	12,9	0,54	0,59
8	09/06/2022	9,4	8,36	7,65	6,89	0,8	0,84
9	10/06/2022	7,89	6,28	6,2	4,93	0,86	0,91
10	11/06/2022	8,48	6,67	6,64	5,26	0,64	0,77
11	12/06/2022	7,24	6,01	5,63	4,75	0,86	0,9
12	13/06/2022	9,99	9,03	7,93	7,28	0,62	0,69
13	14/06/2022	8,6	6,9	6,96	5,62	0,79	0,86
14	15/06/2022	10,83	9,67	8,73	7,68	0,82	0,85
15	16/06/2022	9,99	8,63	7,96	6,78	0,89	0,91
16	20/06/2022	9,77	7,23	7,52	5,97	0,66	0,81
17	21/06/2022	8,06	7,08	7,01	5,74	0,85	0,9
18	22/06/2022	17,94	17,16	15,08	14,59	0,64	0,69

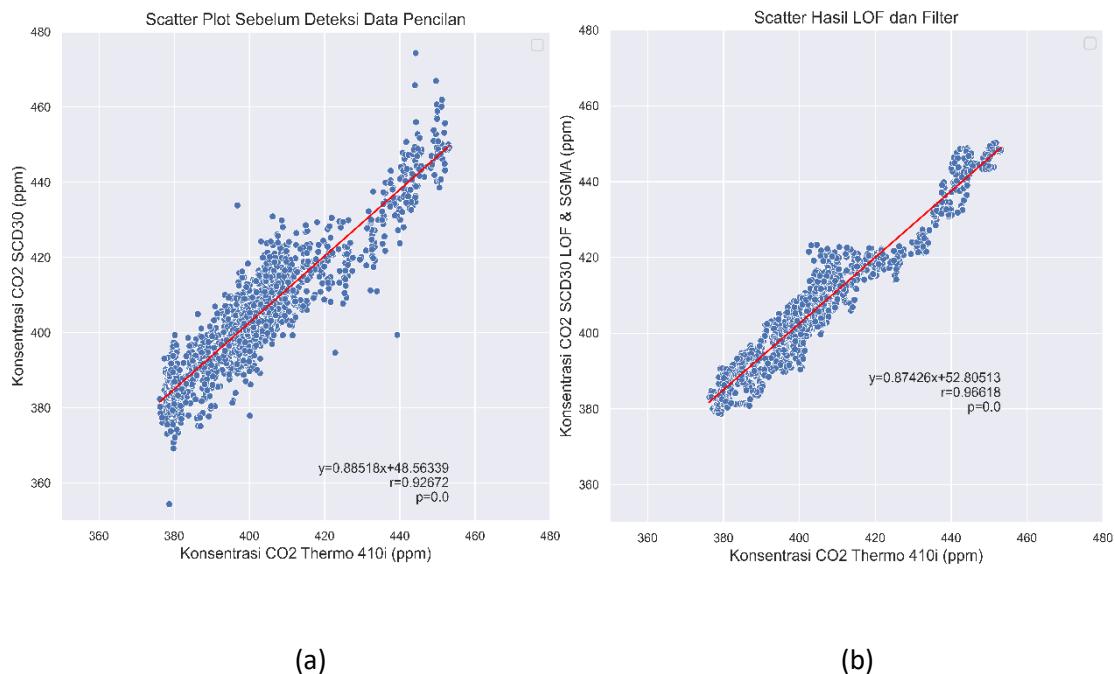


Gambar 0.7 Indikator peningkatan kualitas data

Tabel 4.3 menunjukkan indikator peningkatan kualitas data. Pada kolom A menunjukkan data sebelum dilakukan deteksi data pencilan dengan LOF dan

moving average dengan SGMA dan kolom B setelah dilakukan deteksi data pencilan dan *moving average*.

Gambar 4.7 menunjukkan grafik RMSE, MAE, R^2 , pada pengujian sistem. Setelah dilakukan deteksi data pencilan dengan LOF dan *moving average* menggunakan SGMA indikator mengalami peningkatan.



Gambar 0.8 Scatter plot sebelum (a) dan sesudah (b) dilakukan deteksi data pencilan dan *moving average*

Pada gambar 4.8 a merupakan scatter plot data sebelum dilakukan deteksi data pencilan menggunakan LOF dan *moving average* menggunakan SGMA dan gambar 4.8 b setelah dilakukan deteksi data pencilan dan *moving average*. Pada gambar 4.8 a masih terdapat data pencilan sedangkan pada gambar b tidak terdapat data pencilan. Titik data yang terdeteksi sebagai data pencilan di gantikan oleh titik data sebelumnya yang bukan merupakan data pencilan dan kemudian di plotkan ulang ke dalam gambar 4.8 b.

Grafik komparasi data harian selama komparasi antara alat Thermo 410i dengan sensor SCD30 menggunakan LOF dan *moving average* menggunakan SGMA dapat dilihat pada lampiran 5 sebagaimana gambar 4.6.

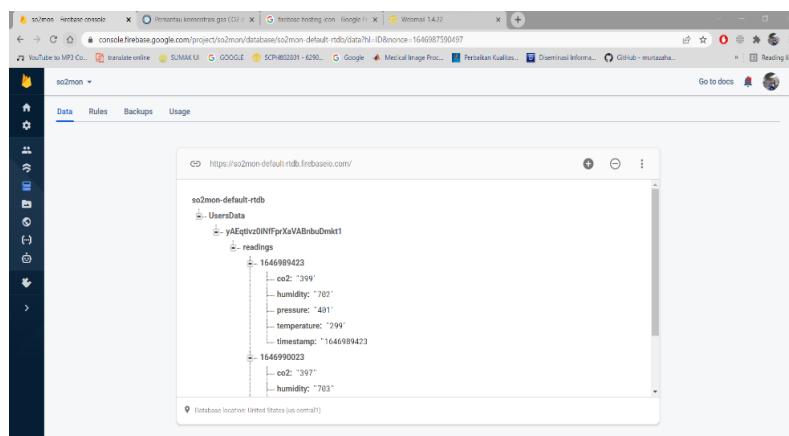
Tabel 0.4 Hasil komparasi data 1 menit selama pengujian

Parameter	Rentang pengukuran			Error		MAE	% Akurasi
	Max	Average	Min	Max	Average		
Suhu	41,5	29,5	23,7				
Kelembaban	90,8	70,4	40,1				
SCD30	462,3	373,6	311,3	87,58	36,05	0,088	91,2
SCD30 Offset	495,3	409,8	354,3	72,94	7,93	0,019	98,1
SCD30 LOF dan SGMA	492,5	409,8	365,9	53,94	6,81	0,017	98,3
Thermo 410i	494,3	409,6	374,9				

Tabel 4.4 merupakan hasil olahan dari data 1 menit selama komparasi. Persen akurasi data mention menit sensor sebelum dilakukan *offset* dan setalah dilakukan LOF dan SGMA meningkat dari 91.2 % menjadi 98.3 %. Sedangkan untuk interval data 1 jam sebelum dilakukan *offset* dan setelah dilakukan LOF dan SGMA meningkat dari 91.3 % ke 98.3%.

4.3 Pengujian Realtime Database Firebase

Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana sistem database menyimpan data yang dikirimkan dari sistem. Kesesuaian data dan kelengkapan data. Data yang dikirim diterima oleh realtime database. Masing-masing data akan menempati *child* nya masing-masing sesuai dengan *parsing* data yang dilakukan, dapat dilihat pada lampiran 4.



Gambar 0.9 Data dari sistem tersimpan di realtime database Firebase

Gambar dibawah ini menunjukkan data yang telah masuk ke dalam sistem Realtime database Firebase. Untuk dapat mengunduh data dari database penulis

menggunakan python dengan Jupyter Notebook. Dengan *credentials certificate* yang diperoleh dari akun Firebase maka pengguna diberikan akses untuk mengambil data yang ada dalam realtime database.

Data yang telah diunduh kemudian disimpan dalam bentuk csv. Setelah proses download data selesai maka penulis akan menghapus data yang ada dalam realtime database. Data yang banyak akan memperlambat user dalam mengakses realtime database, sehingga secara periodik data yang terdapat pada realtime database perlu dihapus.

4.4 Pengujian Display Pengguna

Display sebagai antar muka pengguna digunakan untuk menampilkan data yang dihasilkan oleh sistem pemerintahan konsentrasi gas karbon dioksida. Proses pengujian dilakukan dengan memilih menu dan melihat apakah hasilnya sudah sesuai dengan labelnya atau belum. Pengujian data dilakukan dengan membandingkan data yang teramat pada antar muka dengan data yang terdapat pada realtime database seperti pada blok diagram 4.13, dan hasil tangkapan layar dapat dilihat pada lampiran 3. Gambar dibawah ini menunjukkan tampilan halaman utama antar muka sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida. Berdasarkan gambar 4.9 tampilan awal antara muka pengguna bisa berfungsi dengan baik saat pengguna masuk ke halaman so2mon.web.app atau ke halaman so2mon.firebaseio.com.



Gambar 0.10 Tampilan halaman depan display pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida

Pada saat awal memasuki halaman antar muka maka dihadapkan pada menu log in yang dapat diisi dengan *username* dan *password* dari pengguna. Setelah proses log in selesai maka akan masuk ke halaman utama antar muka pengguna. Tampilan utama terdiri dari tampilan pembacaan suhu, kelembaban, konsentrasi gas karbon dioksida 1 menit dan konsentrasi gas karbon dioksida 10 menit. Waktu menunjukkan data terakhir yang masuk ke database. Apabila ada data baru yang masuk ke database, maka antar muka pengguna akan otomatis memperbarui data yang ada.



Gambar 0.11 Grafik sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida

Tersedia *gauge* sebagai informasi visual, grafik masing-masing parameter dan tabel data yang masuk kedalam database. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa sistem antar muka pengguna mampu menampilkan informasi tentang sistem yang sedang berjalan. Selain itu pengecekan sederhana dilakukan dengan mengetahui update data yang dapat dilihat pada halaman *real-time* database ataupun pada halaman antar muka pengguna.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian sistem pemantauan dan peningkatan kualitas data konsentrasi gas karbon dioksida adalah:

1. Sistem pemantauan konsentrasi gas karbon dioksida dan peningkatan data berhasil dirancang dengan menggunakan Arduino Mega Robot Dyn dengan Realtime database dari Firebase dan Firebase hosting sebagai *display*. Sistem ini merupakan studi awal pengembangan sistem pengamatan kualitas udara gas karbon dioksida di BMKG yang berhasil dilakukan.
2. Sistem pemantauan dengan menggunakan *low-cost* sensor dirancang dan dibuat secara portabel sehingga memudahkan untuk dilakukan pemasangan di remote area dan bisa menjadi rujukan awal pengembangan sistem pengamatan kualitas udara gas karbon dioksida di BMKG dengan menggunakan *low-cost* sensor. Dengan sistem memiliki rata-rata R^2 dari 0.73 menjadi 0.81
3. Persen akurasi data menitan sensor sebelum dilakukan *offset* dan setelah dilakukan LOF dan SGMA meningkat dari 91.2 % menjadi 98.3 %. Sedangkan untuk interval data 1 jam sebelum dilakukan *offset* dan setelah dilakukan LOF dan SGMA meningkat dari 91.3 % ke 98.3%.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dari penelitian ini bagi pengembangan sistem pemantauan kualitas udara konsentrasi gas karbon dioksida di BMKG atau penelitian selanjutnya diantaranya:

1. Penelitian berikutnya dapat menggunakan *low-cost* sensor dengan akurasi yang lebih baik, memiliki fleksibilitas dalam penggunaan dan pemeliharaan dengan biaya rendah.
2. Penelitian berikutnya harus memperhatikan kondisi suhu dan kelembaban dan waktu pengujian yang diakukan hendaknya lebih lama untuk memastikan keandalan sistem yang dirancang.

REFERENSI

- Arakawa, T., Aota, T., Iitani, K., Toma, K., Iwasaki, Y., & Mitsubayashi, K. (2020). Skin ethanol gas measurement system with a biochemical gas sensor and gas concentrator toward monitoring of blood volatile compounds. *Talanta*, 219(February), 121187. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121187>
- Araújo, T., Silva, L., & Moreira, A. (2020). Evaluation of Low-Cost Sensors for Weather and Carbon Dioxide Monitoring in Internet of Things Context. *IoT*, 1(2), 286–308. <https://doi.org/10.3390/iot1020017>
- Breunig, Markus M. and Kriegel, Hans-Peter and Ng, Raymond T. and Sander, J. (2000). LOF: Identifying Density-Based Local Outliers. *Association for Computing Machinery*. New York, NY, USA
- Delbeke, J., Runge-Metzger, A., Slingenbergh, Y., & Werksman, J. (2019). The paris agreement. *Towards a Climate-Neutral Europe: Curbing the Trend*, 24–45. <https://doi.org/10.4324/9789276082569-2>
- Instrumentation, A. A. (2018). *Advanced analytical instrumentation*. 1–7.
- Singh, A. K., Firoz, N., Tripathi, A., Singh, K. K., Choudhary, P., & Vashist, P. C. (2020). Internet of Things: from hype to reality. In *An Industrial IoT Approach for Pharmaceutical Industry Growth*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821326-1.00007-3>
- Susana, T. (1988). Karbon Dioksida. *Oseana*, XIII(1), 1–11.
- ur Rehman, A., & Belhaouari, S. B. (2021). Unsupervised outlier detection in multidimensional data. *Journal of Big Data*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00469-z>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi Teknis Thermo 410i

Specifications

Table 1-1. Model 410*i* Specifications

Preset ranges	0-200, 500, 1000, 2000, 5000, and 10000 ppm 0-500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000 mg/m ³
Custom ranges	0-200 to 10000 ppm 0-500 to 20000 mg/m ³
Zero noise	0.5 ppm RMS (60 second averaging time)
Minimum detectable limit	1 ppm
Zero drift (24 hour)	± 1.0 ppm
Span drift (24 hour)	± 2% span concentration
Response time	90 seconds (30 second averaging time)
Linearity	± 1.5% of span (at concentrations of 10 to 100% of span)
Sample flow rate	1.0 LPM
Operating temperature	5–45 °C

Thermo Electron Corporation

410*i* Instruction Manual **1-3**

Introduction Specifications

Power requirements	100 VAC @ 50/60 Hz 115 VAC @ 50/60 Hz 220–240 VAC @ 50/60 Hz 275 watts
Physical dimensions	16.75" (W) X 8.62" (H) X 23" (D)
Weight	Approximately 39 lbs.
Analog outputs	6 voltage outputs; 0–100 mV, 1, 5, 10 V (User selectable), 5% of full-scale over/under range, 12 bit resolution, user selectable for measurement input
Digital outputs	1 power fail relay Form C, 10 digital relays Form A, user selectable alarm output, relay logic, 100 mA @ 200 VDC
Digital inputs	16 digital inputs, user select programmable, TTL level, pulled high
Serial Ports	1 RS-232 or RS-485 with two connectors, baud rate 1200–115200, data bits, parity, and stop bits, protocols: C-Link, MODBUS, and streaming data (all user selectable)
Ethernet connection	RJ45 connector for 10Mbs Ethernet connection, static or dynamic TCP/IP addressing

Lampiran 2. Spesifikasi Teknis sensor SCD30



1 Sensor Specifications¹

Preliminary information. Subject to change without notice.

CO₂ Sensor Specifications

Parameter	Conditions	Value
CO ₂ measurement range	-	0 – 40'000 ppm
Accuracy ²	400 ppm – 10'000 ppm	± (30 ppm + 3%)
Repeatability ³	400 ppm – 10'000 ppm	± 10 ppm
Temperature stability ⁴	T = 0 ... 50°C, 400 ppm – 10'000 ppm	± 2.5 ppm / °C
Response time ⁵	$\tau_{0.3\%}$	20 s
Accuracy drift over lifetime ⁶	400 ppm – 10'000 ppm ASC field-calibration algorithm activated	± 100 ppm

Table 1: SCD30 CO₂ sensor specifications

Humidity Sensor Specifications⁷

Parameter	Conditions	Value
Humidity measurement range	-	0 %RH – 100 %RH
Accuracy ⁸	25°C, 0 – 100 %RH	± 2 %RH
Repeatability ³	-	0.1 %RH
Response time ⁵	$\tau_{0.3\%}$	8 s
Accuracy drift	-	< 0.25 %RH / year

Table 2: SCD30 humidity sensor specifications

Temperature Sensor Specifications⁷

Parameter	Conditions	Value
Temperature measurement range ⁹	-	- 40°C – 70°C
Accuracy ⁴	0 – 50°C	± 0.3°C
Repeatability ³	-	0.1°C
Response time ⁵	$\tau_{0.3\%}$	> 2 s
Accuracy drift	-	< 0.03 °C / year

Table 3: SCD30 temperature sensor specifications

Lampiran 3. Pengujian tampilan display Firebase hosting

Tampilan Screenshot pda halaman depan system pemantauan

The screenshot shows the following data cards:

- TEMPERATURE:** 28 °C (Value: 28.00)
- HUMIDITY:** 76.3 % (Value: 76.30)
- CO2 1 Menit:** 395 ppm (Value: 395.00)
- CO2 10 Menit:** 400 ppm (Value: 400.00)

Below the cards is a table of historical data:

Waktu	Temp (°C)	Hum (%)	CO2 1 Menit (ppm)	CO2 10 Menit (ppm)
2022/06/22 18:22:56	28	76.3	395	400
2022/06/22 18:12:55	27.6	77.3	406	387

Screenshot pada data yang dihasilkan, data diperoleh dari SD card

Keterangan: Urutan data Datetime, suhu, kelembaban, SCD30; suhu dan kelembaban dibagi 10

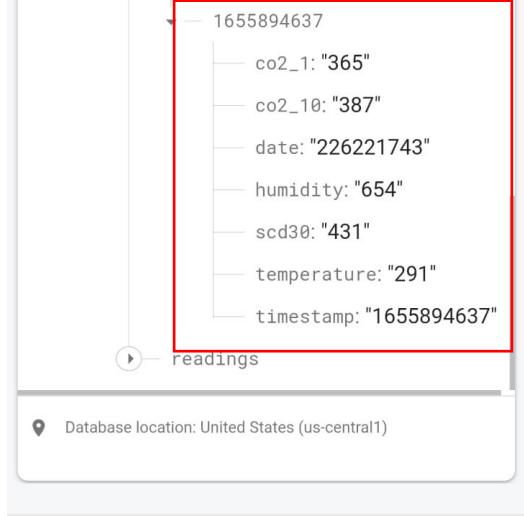
```

2022/6/22 18:10:48,276.40,772.95,418.11,346,350,365
2022/6/22 18:11:48,276.39,772.95,418.11,346,350,365
2022/6/22 18:12:48,276.36,773.51,406.99,387,350,365
2022/6/22 18:13:48,277.06,772.66,408.89,428,387,393
2022/6/22 18:14:48,277.32,772.49,407.29,427,428,425
2022/6/22 18:15:49,277.37,771.90,404.51,425,427,424
2022/6/22 18:16:49,277.93,770.86,399.89,424,425,423
2022/6/22 18:17:49,278.38,768.80,396.56,419,424,422
2022/6/22 18:18:49,278.75,767.97,398.54,412,419,418
2022/6/22 18:19:49,279.09,766.99,402.98,407,412,412
2022/6/22 18:20:50,279.48,765.36,399.78,403,407,408
2022/6/22 18:21:50,279.88,764.35,396.62,401,403,405
2022/6/22 18:22:50,280.28,763.70,395.71,400,401,404
2022/6/22 18:23:50,280.70,762.50,400.83,399,400,403
2022/6/22 18:24:50,281.09,761.67,402.01,399,399,402
2022/6/22 18:25:50,281.67,760.86,395.44,398,399,402
2022/6/22 18:26:51,281.93,759.59,397.44,398,398,401

```

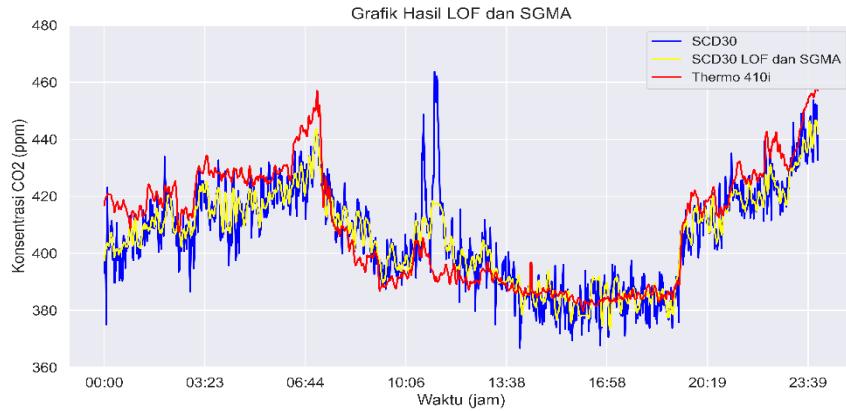
Ln 113, Col 52 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-8

Lampiran 4. Pengujian Firebase realtime database

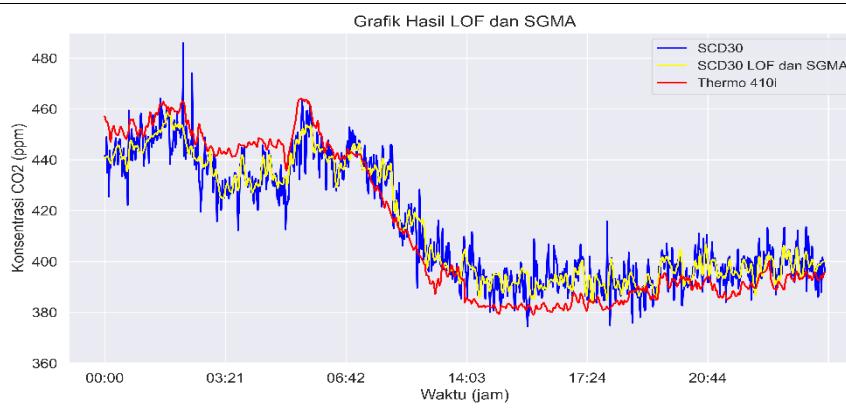
Data dari SD Card sistem pemantauan konsentrasi gas CO₂
<pre>2022/6/22 17:38:37,299.78,628.10,431.54,171,350,365 2022/6/22 17:39:37,297.66,636.40,432.26,215,350,365 2022/6/22 17:40:38,295.44,643.25,429.98,257,350,365 2022/6/22 17:41:38,294.01,648.09,430.97,300,350,365 2022/6/22 17:42:38,292.92,651.21,430.06,343,350,365 2022/6/22 17:43:38,291.90,654.06,431.58,387,350,365 2022/6/22 17:44:38,290.92,656.11,430.95,430,387,393 2022/6/22 17:45:38,290.35,658.32,430.97,430,430,426 2022/6/22 17:46:39,289.70,660.54,429.89,430,430,426 2022/6/22 17:47:39,266.20,750.74,394.03,426,430,426</pre>
Konversi waktu dari desimal ke bentuk <i>Datetime</i> format
<pre>dt_obj = datetime.fromtimestamp(1655894637) print("date_time:", dt_obj) print("type of dt:", type(dt_obj)) date_time: 2022-06-22 17:43:57 type of dt: <class 'datetime.datetime'></pre>
Data yang terbaca di realtime database Firebase
 <p>Database location: United States (us-central1)</p>

Lampiran 5. Komparasi antara alat Thermo 410i dengan Sistem pemantauan konsentrasi *low-cost* sensor dengan LOF dan SGMA

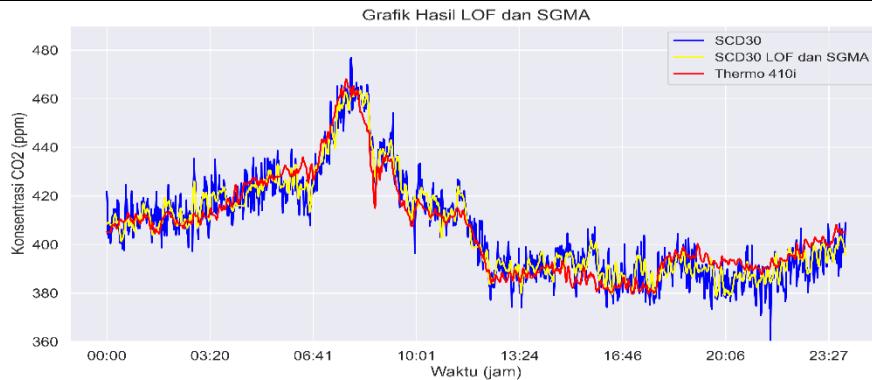
Grafik data pemantauan tanggal 3 Juni 2022



Grafik data pemantauan tanggal 4 Juni 2022

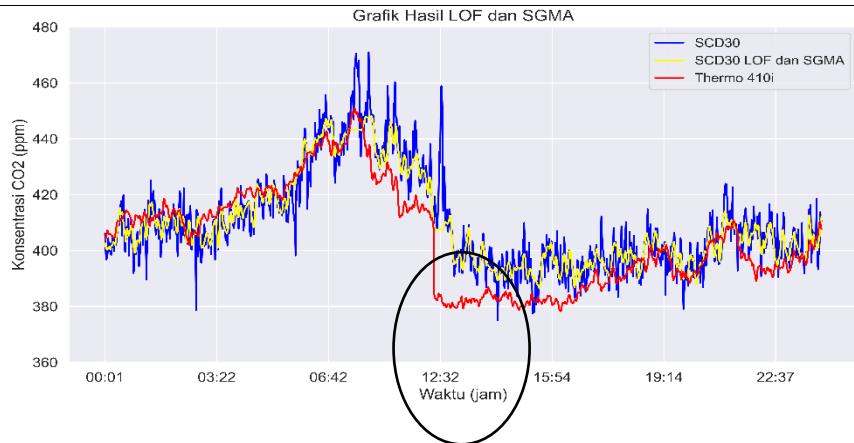


Grafik data pemantauan tanggal 6 Juni 2022



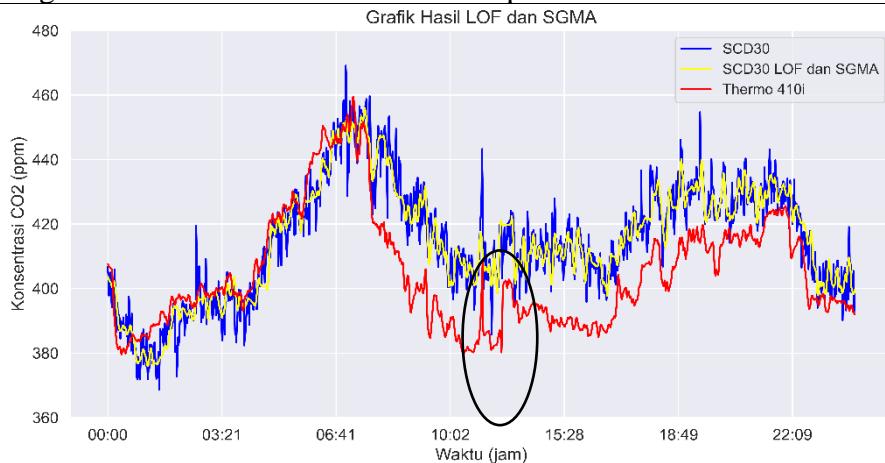
Grafik data pemantauan tanggal 7 Juni 2022

Keterangan: daerah yang dilingkari pada saat sistem pemantauan konsentrasi gas CO₂ dengan sensor SCD30 dilakukan perbaikan dan *download* data dari SD Card.

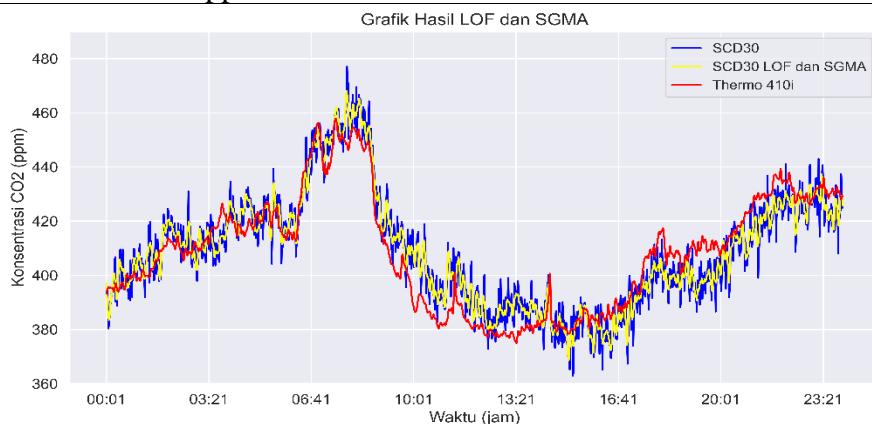


Grafik data pemantauan tanggal 8 Juni 2022

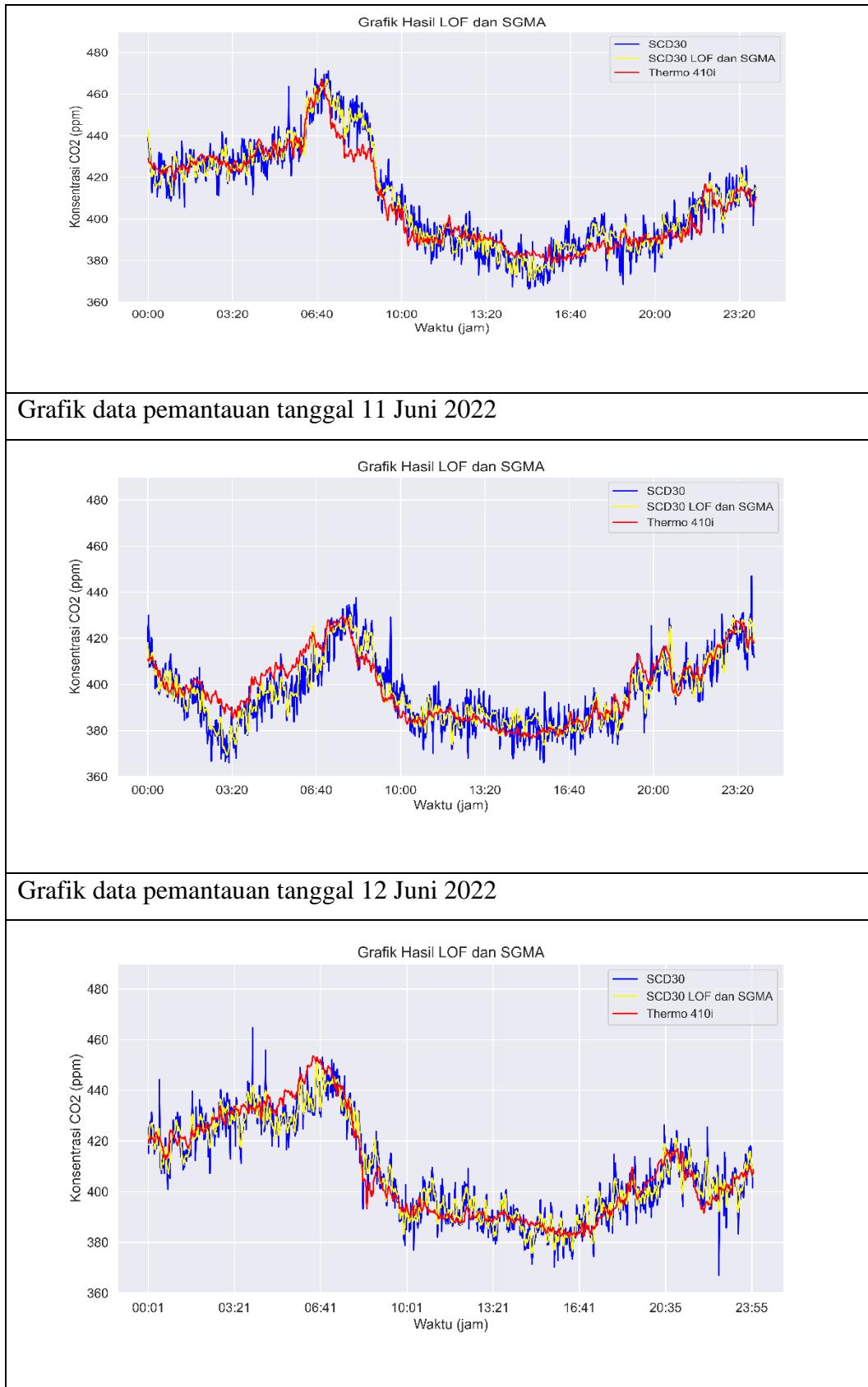
Keterangan: Sistem Thermo 410i dilakukan pemeliharaan dan kalibrasi ulang



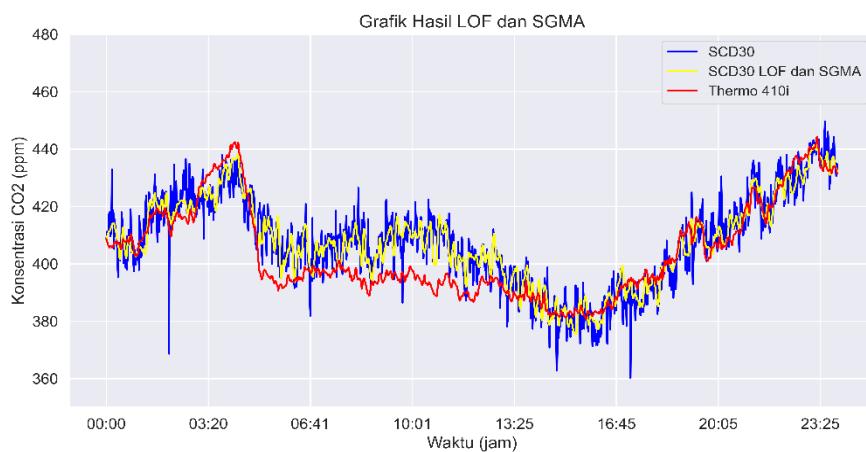
Grafik data pemantauan tanggal 9 Juni 2022 (Data sensor SCD30 dilakukan tambahan offset -10 ppm)



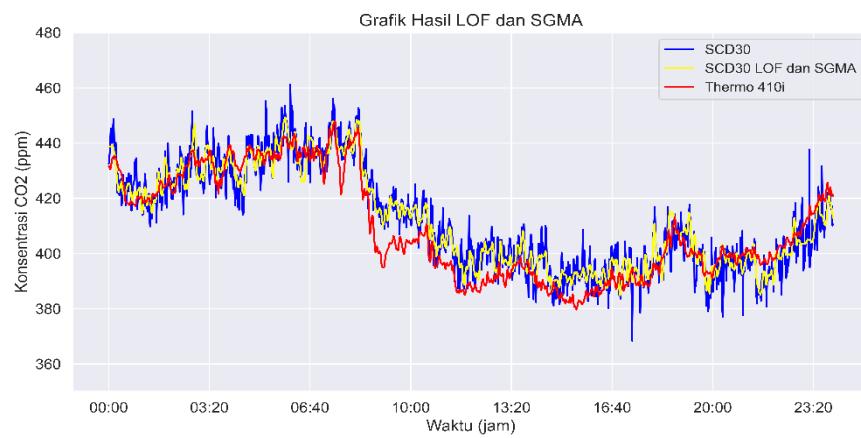
Grafik data pemantauan tanggal 10 Juni 2022



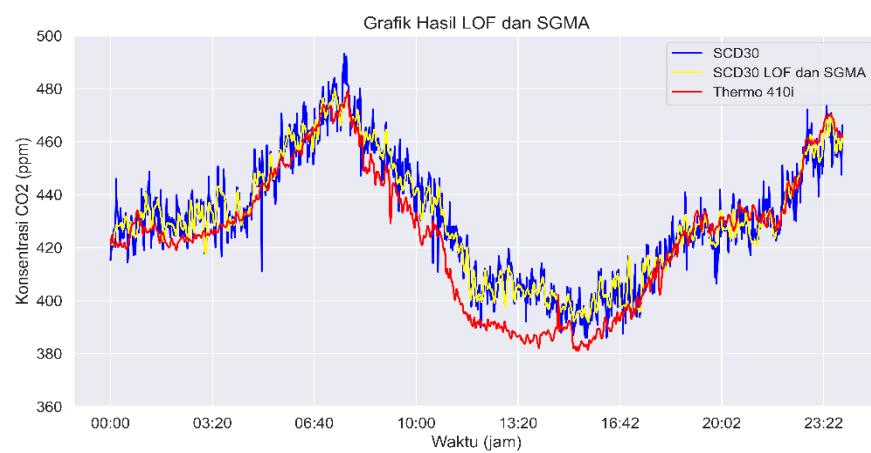
Grafik data pemantauan tanggal 13 Juni 2022



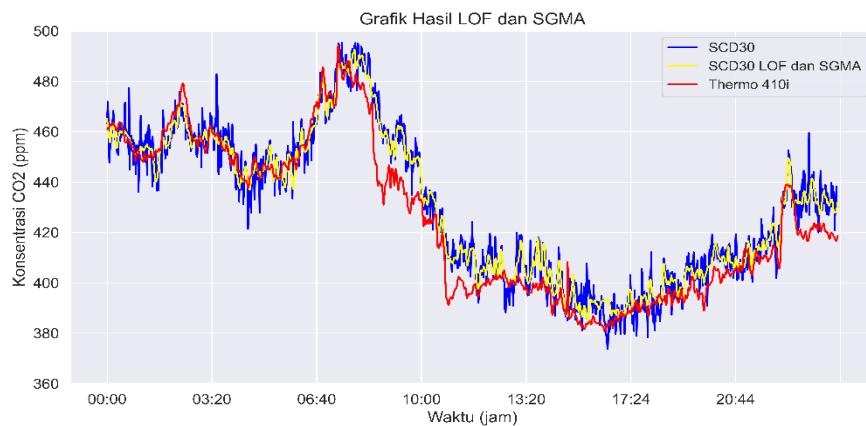
Grafik data pemantauan tanggal 14 Juni 2022



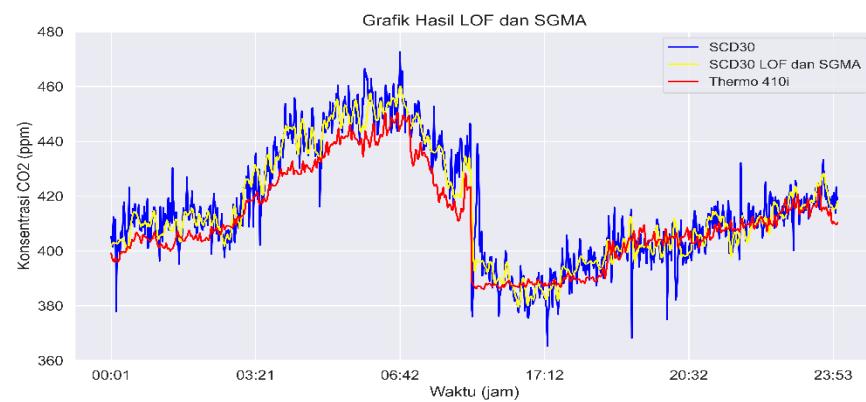
Grafik data pemantauan tanggal 15 Juni 2022



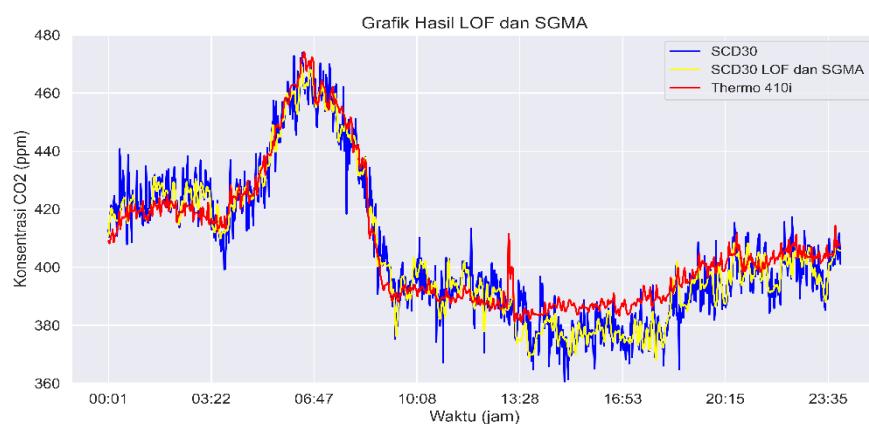
Grafik data pemantauan tanggal 16 Juni 2022



Grafik data pemantauan tanggal 20 Juni 2022



Grafik data pemantauan tanggal 21 Juni 2022



Grafik data pemantauan tanggal 22 Juni 2022

