

RANCANG BANGUN ALAT PEMANTAU KUALITAS UDARA DENGAN PEMANFAATAN IoT (*INTERNET OF THINGS*) BERBASIS MIKROKONTROLER MENGGUNAKAN SENSOR MQ-135 DAN MQ-136 PADA WILAYAH KABUPATEN PONOROGO (PARAMETER CO₂ DAN SO₂)

DESIGN OF AIR QUALITY MONITORING EQUIPMENT WITH IoT (*INTERNET OF THINGS*) MICROCONTROLLER- BASED USING MQ-135 AND MQ-136 SENSORS IN PONOROGO DISTRICT (CO₂ AND SO₂ PARAMETERS)

Muhammad Irfanuddin Majiid¹⁾ dan Abdu Fadli Assomadi^{1*)}

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Surabaya 60111, Indonesia

^{*)}E-mail: assomadi@its.ac.id

Abstrak

Penelitian ini memanfaatkan perangkat pemantauan udara berbasis IoT *Arduino Uno* dengan sensor MQ-135 dan MQ-136. *Arduino Uno* adalah papan mikrokontroler yang dibangun menggunakan basis data ATmega328. Komponen ini dilengkapi dengan 14 pin input/output digital, dimana 6 di antaranya berfungsi sebagai output PWM, 6 pin sebagai input analog, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, *header ICSP*, dan tombol reset. Untuk mengoperasikan mikrokontroler, *Arduino Uno* dihubungkan ke komputer melalui USB atau dapat diberi daya dengan baterai atau adaptor AC/DC. Sensor tipe MQ-135 mampu mendeteksi kadar gas CO₂ dan memiliki konduktivitas rendah saat berada di udara bersih. Sementara itu, sensor jenis MQ-136 memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas SO₂. Sensor-sensor ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi uap lain yang mengandung gas sulfur. Pada kedua sensor tersebut, nilai resistansi (Rs) dapat berubah saat terkena gas. Selain itu, terdapat pemanas yang berfungsi untuk membersihkan sensor dari kontaminasi udara luar. *Output* dari kedua sensor adalah data analog. ESP8266 adalah sebuah Smart on Chip (SoC) Wi-Fi yang dirancang dengan ukuran minimalis dan hanya memerlukan sedikit komponen eksternal. Chip ini mampu berkomunikasi melalui infrastruktur Wi-Fi menggunakan protokol IPv4, TCP/IP, dan HTTP. Hasil pembacaan sensor MQ-135 dan MQ-136 pada mikrokontroler menunjukkan nilai yang memuaskan dan sesuai dengan standar yang berlaku. Untuk sensor MQ-135, pembacaan gas CO₂ menunjukkan hasil rata-rata sebesar 314 ppm. Pada sensor MQ-136, pembacaan gas SO₂ memiliki nilai rata-rata sebesar 0,015 ppm. Sistem kerja *Android* yang digunakan melibatkan aplikasi *Blynk*, dengan pembuatan kode untuk LCD, LED, buzzer, serta sensor yang terhubung ke *smartphone* melalui koneksi nirkabel. Penggunaan fitur *value* untuk data secara *real-time* memungkinkan pemantauan dan pemberian notifikasi kualitas udara melalui *smartphone*.

Kata kunci: ESP8266, *Internet of Things* (IoT), Mikrokontroler *Arduino Uno*, Sensor MQ-135, Sensor MQ-136.

Abstract

This study utilizes an IoT-based air monitoring device with Arduino Uno, equipped with MQ-135 and MQ-136 sensors. Arduino Uno is a microcontroller board built on the ATmega328 data sheet. This component features 14 digital input/output pins, with 6 functioning as PWM outputs, 6 as analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. To operate the

microcontroller, the Arduino Uno is connected to a computer via USB or powered by a battery or AC/DC adapter. The MQ-135 sensor detects CO₂ levels and exhibits low conductivity in clean air, while the MQ-136 sensor is highly sensitive to SO₂ gas. Both sensors can also detect other sulfur-containing vapors. Their resistance (Rs) changes upon gas exposure, and they include a heater to cleanse the sensor of external air contaminants. The output from both sensors is analog data. The ESP8266 is a Smart on Chip (SoC) Wi-Fi module designed to be minimalistic and requires only a few external components. This chip can communicate via Wi-Fi infrastructure using IPv4, TCP/IP, and HTTP protocols. The readings from the MQ-135 and MQ-136 sensors on the microcontroller show satisfactory values that comply with existing standards. For the MQ-135 sensor, the CO₂ readings show an average result of 314 ppm. For the MQ-136 sensor, the SO₂ readings have an average value of 0.015 ppm. The Android system used involves the Blynk Apps, with coding created for the LCD, LED, buzzer, and sensors connected to the smartphone wirelessly. The use of the value feature for real-time data enables monitoring and provides air quality notifications via smartphone.

Keywords: Arduino Uno Microcontroller, ESP8266, Internet of Things (IoT), MQ-135 Sensor, MQ-136 Sensor.

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara adalah masalah yang terus berulang setiap tahun. Hal ini disebabkan oleh persatnya perkembangan teknologi, ilmu pengetahuan, dan kebakaran hutan. Aktivitas manusia modern yang meningkat memerlukan teknologi yang lebih canggih sehingga jumlah industri, pembangkit listrik, dan kendaraan bermotor terus bertambah. Kegiatan-kegiatan tersebut melepaskan polutan setiap hari. Akibatnya, udara bersih menjadi tercemar dan dapat mengganggu kesehatan serta merusak ekosistem. (Abidin *et al.*, 2019).

Tumbuhnya perekonomian dan pesatnya urbanisasi berpotensi meningkatkan konsumsi energi. Kebutuhan bahan bakar pembangkit listrik, keperluan industri, dan transportasi menjadi lebih tinggi. Pembakaran bahan bakar ini menghasilkan polutan seperti CO_x, NO_x, SO_x, dan partikulat. (Budiyono, 2010). Oleh karena itu, pengelolaan kualitas udara adalah hal penting. Pengelolaan dapat dilakukan dengan pemasangan stasiun pemantau kualitas udara sebagaimana telah dilakukan di beberapa kota seperti Medan, Pekanbaru, Pontianak, Palangkaraya, Jambi, DKI Jakarta, Bandung, Semarang, Surabaya, dan Denpasar.

Karbon dioksida (CO₂) adalah gas tidak berwarna dan tidak berbau, terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan satu atom karbon. CO₂ berbentuk gas pada suhu dan tekanan ruang. Kandungan CO₂ di udara

bervariasi mulai sekitar 300 ppm (Sehabudin, 2010). Pada suhu tinggi, CO₂ dapat terurai menjadi karbon monoksida (CO). Daerah perkotaan yang padat merupakan tempat yang ideal untuk pembentukan CO. Radiasi sinar matahari yang terperangkap di wilayah ini dapat meningkatkan suhu udara sehingga memicu terjadinya konversi CO₂ menjadi CO. Sementara itu, sulfur dioksida (SO₂) adalah gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil pada pembangkit, fasilitas industri, dan kendaraan. SO₂ adalah pencemar yang menjadi prekursor asam sulfat (H₂SO₄). Sumber utama SO₂ berasal dari pembangkit listrik tenaga batu bara, pembakaran bahan bakar fosil, dan gunung berapi.

Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang sebagian besar atau seluruh elemennya dikemas dalam satu *chip* IC, sehingga sering disebut *single chip* mikrokomputer. Mikrokontroler dirancang untuk menjalankan satu atau beberapa tugas yang sangat spesifik. Elemen-elemen mikrokontroler meliputi:

- a. *Processor*
- b. Memori
- c. *Input dan output*

Penggunaan mikrokontroler dalam sistem lebih menguntungkan dengan mikroprosesor sebab tidak membutuhkan memori dan I/O eksternal sepanjang kapasitas internal *chip* masih mencukupi (Andrianto, 2008).

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler yang dibangun menggunakan basis data ATmega328. Komponen ini dilengkapi dengan 14 pin input/output digital, dimana 6 di antaranya berfungsi sebagai output PWM, 6 pin sebagai input analog, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, *header ICSP*, dan tombol reset. Untuk mengoperasikan mikrokontroler, Arduino Uno dihubungkan ke komputer melalui USB atau dapat diberi daya dengan baterai atau adaptor AC/DC.

Sensor MQ-135 adalah sensor gas yang memiliki konduktivitas rendah di udara bersih. Konduktivitas sensor ini akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi gas. Salah satu gas yang dapat dideteksi oleh sensor ini adalah NO₂ (Sebayang, 2017). Treska (2013) menyatakan bahwa sensor MQ-136 adalah komponen semikonduktor yang berfungsi mendeteksi gas berbasis timah oksida (SnO₂). Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap gas SO₂ dan dapat mendeteksi uap lain yang mengandung sulfur. Sensor MQ-136 memiliki sensitivitas rendah terhadap gas yang mudah terbakar pada kondisi normal. Hal ini menjadikannya pilihan yang murah dan cocok untuk berbagai aplikasi. Selain itu, terdapat *gas detector* yang berfungsi mendeteksi kandungan gas di udara sekitar. Desikator juga ditambahkan untuk menghilangkan air dan kristal guna mencegah kesalahan pembacaan pada alat bekerja.

Stasiun pemantau udara memiliki peran penting dalam menilai apakah kualitas udara di suatu daerah masih aman bagi manusia, hewan, dan ekosistem. Jika kualitas udara melebihi baku mutu dan berpotensi membahayakan kesehatan, maka tindakan nyata dari pemangku kebijakan dan masyarakat diperlukan. Di Kabupaten Ponorogo, pencemaran udara didominasi oleh emisi kendaraan akibat pertumbuhan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, evaluasi kualitas udara secara berkala diperlukan dengan membandingkan konsentrasi polutan udara dengan baku mutu yang ada. Desain alat yang dirancang akan digunakan oleh DLH Kabupaten Ponorogo untuk dibandingkan dengan alat komersial sejenis Envilab. Alat komersial ini

dikenal memiliki harga yang sangat mahal. Oleh karena itu, diharapkan alat yang dirancang dapat menggantikan alat tersebut dengan lebih efisien. Namun, sebelum digunakan, perlu dipastikan akurasi dan presisi alat yang dirancang agar data yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan.

2. METODE

Tahap pertama adalah merakit alat pendeteksi pencemaran udara berbasis mikrokontroler dengan sensor MQ-136 untuk mendeteksi gas SO₂ dan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas CO₂. Setelah perakitan, alat ini dipasang di lokasi yang akan diteliti. Alat tersebut kemudian akan mengumpulkan data mengenai kadar gas SO₂ dan CO₂. Setelah data yang diperlukan terkumpul, langkah selanjutnya adalah membandingkan data tersebut dengan data dari alat yang digunakan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Ponorogo. Tahap terakhir adalah menentukan kesimpulan dan memberikan saran berdasarkan hasil perbandingan. Jika alat yang dirancang menunjukkan kualitas yang lebih baik, maka alat tersebut dapat digunakan oleh DLH Kabupaten Ponorogo untuk memantau kualitas udara di wilayahnya. Adapun alat dan bahan yang diperlukan untuk produksi *prototype* meliputi:

a. Hardware

Sensor MQ-135, Sensor MQ-136, Esp 8266, *Microcontroller Arduino UNO*, *Liquid Crystal Display (LCD)*, Kabel Pelangi, *PCB*, Laptop, *Smartphone Android*.

b. Software

Internet, *Arduino IDE*, dan *Blynk App*.

Internet of Things (IoT) bekerja memanfaatkan algoritma bahasa pemrograman yang telah ditentukan. Setiap argumen yang dibentuk menghasilkan interaksi yang membantu perangkat keras/mesin menjalankan fungsinya secara otomatis. Faktor paling penting dalam menjalankan program ini adalah jaringan internet yang menghubungkan sistem dan perangkat keras. Peran manusia adalah mengawasi tindakan dan perilaku mesin saat beroperasi. Kalibrasi adalah proses penting

dalam pengecekan akurasi alat ukur dengan membandingkannya dengan standar nasional atau internasional serta acuan yang tersertifikasi. Setelah menyiapkan alat, menentukan pelaksana kalibrasi adalah hal penting. Pelaksana kalibrasi harus memahami proses kalibrasi yang akan dilakukan untuk menghindari kesalahan dalam pengambilan data ukur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa langkah. Langkah pertama melibatkan pembuatan *prototype hardware*. Setelah itu, dilakukan validasi dengan menggunakan alat yang sebenarnya, seperti Impinger, HVS, dan *Direct Reading*. Langkah ketiga adalah pemrosesan perangkat lunak menggunakan aplikasi Blynk di platform Android. Tujuan dari proses perangkat keras dan perangkat lunak ini adalah untuk mengukur kualitas udara di suatu lokasi, serta memudahkan pengguna dalam memantau kualitas udara secara *real-time* melalui perangkat lunak.

Percobaan ini dilaksanakan dengan melakukan pengukuran kualitas udara ambien di kawasan jalan baru di Kabupaten Ponorogo. Sensor yang digunakan adalah jenis MQ-135 dan MQ-136, dengan variasi jenis pengukuran SO₂ dan CO₂. Pemrosesan secara perangkat lunak dilakukan menggunakan aplikasi *Android* bernama *Blynk*, yang dapat diunduh di *Playstore*. Pengguna dapat melakukan modifikasi berupa pembuatan *prototype* skala rancangan dan mengonfigurasikannya dengan *hardware* keras yang telah dibuat sebelumnya.

3.1 Desain Sistem Alat

Rancangan pemantau kualitas pencemaran udara ini menggunakan sensor *Air Quality*, yaitu MQ-136 dan MQ-135. Sensor tersebut berfungsi untuk mendeteksi kadar CO₂ dan SO₂. Sensor-sensor ini dihubungkan ke *microcontroller* Arduino Uno. Pembacaan yang dilakukan oleh Arduino Uno terhubung dengan aplikasi *Windows* yang bernama *Arduino IDE*.

Proses kerja sistem ini dimulai dengan sensor MQ-135 yang mendeteksi kadar gas CO₂ melalui perubahan nilai ADC. Selanjutnya, *microcontroller* Arduino Uno akan memproses perintah konversi dari nilai perubahan ADC menjadi kadar CO₂ dalam satuan ppm. Waktu *heater* yang diperlukan sebelum sensor beroperasi adalah 60 detik.

3.2 Display Running Sensor.

Setelah semua komponen dirangkai dengan baik, sensor dapat diaktifkan dengan menyambungkan kabel dari port USB 2.0 pada *microcontroller* ke laptop. Langkah-langkah selanjutnya adalah:

- Menghidupkan Arduino IDE pada laptop dan mengonfigurasi *library* sesuai dengan sensor.
- Jika pustaka telah terisi dengan benar, tekan "*Upload*" dan tunggu hingga sketsa selesai diunggah.
- Setelah itu, tekan tombol "*Tools*" dan pilih "*Serial Monitor*".
- Tampilan angka hasil pembacaan sensor yang telah aktif akan terlihat.
- Jangan lupa untuk selalu melakukan *maintenance* yang baik pada sensor.

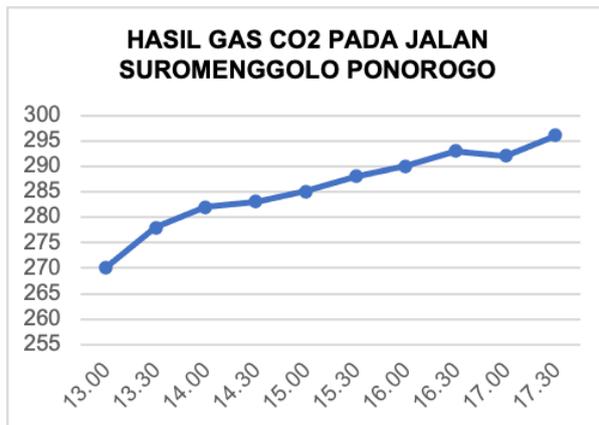
3.3 Pengujian Parameter CO₂

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran gas CO₂ yang dihasilkan oleh alat ukur bersertifikat dengan alat yang dirancang. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kelayakan data yang diperoleh serta menilai kelayakan alat yang telah dibuat. Saat pengujian, ketinggian alat pada saat pendeteksian adalah 1 meter, dan suhu udara rata-rata adalah 31°C. Alat melakukan pendeteksian dan mengeluarkan data setiap 1 menit. Data yang diambil meliputi rata-rata 5 menit sebelum dan 5 menit setelah pengukuran.

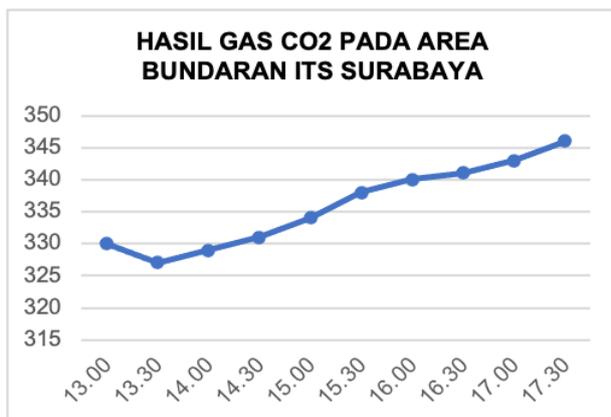
Metode pengujian dilakukan dengan mengamati dan membandingkan konsentrasi gas CO₂ yang diukur oleh alat operasional dan alat yang dirancang menggunakan sensor gas CO₂ MQ-135 yang ditempatkan berdekatan. Hasil validasi

alat untuk parameter gas CO₂ disajikan dalam Gambar 1 hingga Gambar 3.

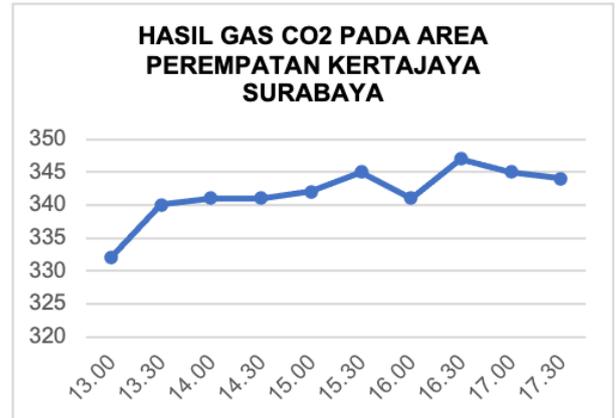
Data hasil perbandingan antara nilai kadar gas CO₂ pada prototype dan alat operasional menunjukkan bahwa prototype telah mampu membaca konsentrasi gas CO₂ dengan satuan ppm dengan baik. Hal ini dikarenakan standar kandungan gas CO₂ adalah 314 ppm. Selanjutnya, pada lokasi pengujian di Bundaran ITS, kadar gas CO₂ yang terukur adalah sebesar 335,5 ppm, demikian pula pada lokasi sampel di perempatan.



Gambar 1. Grafik Hasil Gas CO₂ pada Jalan Suromenggolo Ponorogo



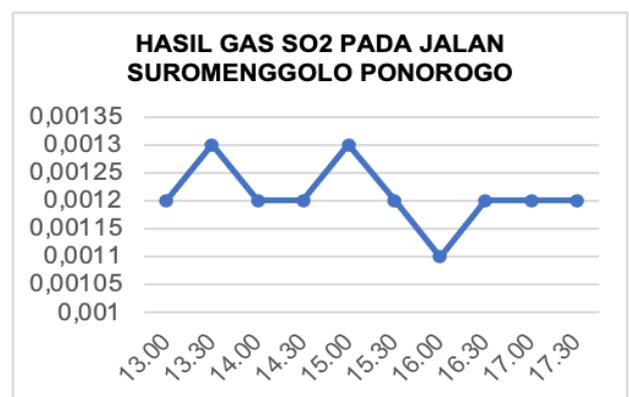
Gambar 2. Grafik Hasil Gas CO₂ pada Area Bundaran ITS



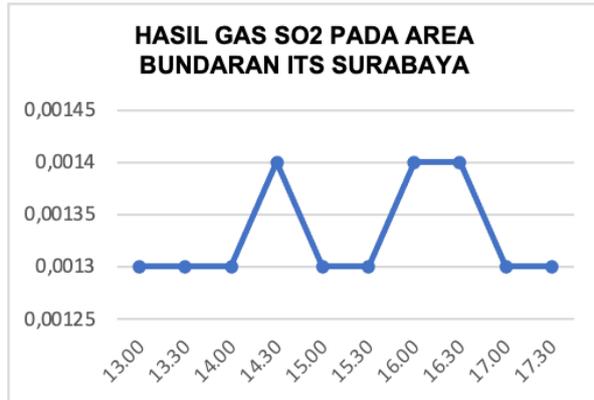
Gambar 3. Grafik Hasil Gas CO₂ pada Area Perempatan Kertajaya Surabaya

3.4 Pengujian Parameter SO₂

Metode pengujian dilakukan dengan mengamati dan membandingkan konsentrasi gas SO₂ yang diukur oleh alat operasional dan alat rancangan menggunakan sensor gas SO₂ MQ-135 yang ditempatkan berdekatan. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran gas SO₂ dari alat ukur operasional bersertifikat dengan alat rancangan, guna menentukan kelayakan data yang diperoleh serta kelayakan alat tersebut. Dalam pengujian ini, digunakan alat ukur *Impinger* dari Mitra Lab Surabaya sebagai alat pengujian. Hasil validasi alat untuk parameter gas SO₂ (sulfur dioksida) disajikan dalam Gambar 4 hingga 6.

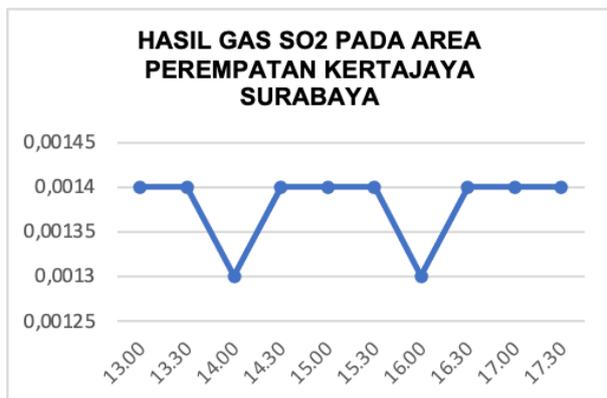


Gambar 4. Grafik Hasil Gas SO₂ pada Jalan Suromenggolo Ponorogo



Gambar 5. Grafik Hasil Gas SO₂ pada Area Bundaran ITS

Data hasil perbandingan antara kadar gas SO₂ pada *prototype* dan alat operasional menunjukkan bahwa *prototype* telah mampu membaca konsentrasi gas SO₂ dengan satuan ppm dengan baik, karena baku mutu untuk gas SO₂ adalah 0,0012 ppm. Pada lokasi pengujian di Bundaran ITS, kadar gas SO₂ yang terukur adalah sebesar 0,0013 ppm, sedangkan di lokasi sampel di perempatan Kertajaya juga tercatat sebesar 0,0013 ppm. Dengan hasil tersebut, kadar udara di kedua lokasi sampel uji tergolong dalam keadaan baik, karena kualitas udara SO₂ dianggap tidak baik jika melebihi 0,0015 ppm.



Gambar 6. Grafik Hasil Gas SO₂ pada Area Perempatan Kertajaya Surabaya

3.5 Sistem Kerja Android

Sistem kerja *prototype* peneliti yang terhubung dengan *Android* terdiri dari dua tahap, yaitu konstruksi *prototype* melalui pemrograman dengan *Arduino IDE* dan perakitan *interface* menggunakan aplikasi *Blynk*. *Interface Blynk Apps* dapat dilakukan dengan mudah

menggunakan fitur menu yang sudah tersedia dalam aplikasi.

Berikut adalah tahapan-tahapan dalam pembuatan *prototype* yang terkoneksi dengan aplikasi *Blynk*:

- Prototype* harus dalam kondisi aktif untuk mendeteksi gas yang diteliti, yaitu gas CO₂ dan SO₂. Kondisi aktif ini berarti *prototipe* sudah tersambung dengan laptop atau menggunakan adaptor untuk mengalirkan listrik. Arus listrik ini berguna untuk menjalankan chip *Arduino Uno* yang mengaktifkan sensor *hardware* MQ-135 dan MQ-136 serta sistem ESP8266 untuk menjalankan Wi-Fi yang menghubungkan *hardware* dan *software*.
- Hasil deteksi sensor akan dikirimkan ke *Arduino Uno* dan diproses sesuai dengan *Arduino IDE*. Hasil yang dimaksud adalah nilai ppm yang dihasilkan dari kedua sensor, yaitu sensor MQ-135 untuk gas CO₂ dan sensor MQ-136 untuk gas SO₂.
- Mikrokontroler *Arduino Uno* dihubungkan dengan ESP8266 *wireless* sehingga saat hotspot smartphone digunakan untuk menjalankan *Blynk Apps*, akan tersambung dengan catatan mengisi kolom otentikasi yang dikirim ke pengguna melalui email serta mengisi SSID dan kata sandi untuk login.
- Setelah sambungan antara *prototyp* dengan *Blynk Apps* terjadi, hubungkan angka yang terdapat dalam *Arduino Uno* ke *Blynk Apps* melalui fitur *value* yang ada di *Blynk Apps*.
- Hasil deteksi sensor akan dapat tersambung secara *real-time* sehingga tingkat kualitas udara yang terdeteksi oleh sensor dapat dilihat.
- Informasi dari *Blynk Apps* akan memberikan *push notification* kepada pengguna jika kualitas udara meningkat ke level yang berbahaya dengan menambah fitur *eventor settings*.

3.6 Kalibrasi Alat

Kalibrasi adalah membandingkan alat yang digunakan dengan alat pada Laboratorium Udara ITS yaitu alat pendeteksi gas SO₂

aeroqual series 500. Perbandingan alat tersebut dilakukan pada bundaran ITS dan juga perempatan Kertajaya. Lokasi dipilih karena banyak kendaraan bermotor yang berada pada wilayah lokasi sampel uji, dan kadar SO₂ pada udara sangat sedikit yaitu mencapai 0,0015 ppm. Hasil perbandingan dengan alat pemantau udara *aeroqual series 500* adalah saat alat tersebut dinyalakan bersamaan dengan alat pemantau udara mikrokontroler berbasis IoT, alat *aeroqual series 500* menunjukkan angka 0,00 pada wilayah sampel bundaran ITS dan juga pada daerah perempatan Kertajaya. Hasil tersebut dikarenakan rendahnya kandungan gas SO₂ yang ada pada udara/lingkungan sekitar. Namun pada alat terbaca rata-rata 1,4 ppm, padahal baku mutu dari SO₂ itu sendiri menurut PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran VII adalah 0,0015 ppm. Dengan hal tersebut maka alat pemantau udara berbasis mikrokontroler dengan sensor MQ-135 dan MQ-136 menggunakan pemanfaatan IoT dibagi dengan 100 agar alat tersebut terkalibrasi dengan alat *aeroqual series 500*. Jadi dengan hal itu maka rata-rata yang didapatkan dari alat pemantau udara berbasis mikrokontroler yaitu 0,0014 ppm.

Namun dengan pembacaan alat *aeroqual series 500* yang belum maksimal dikarenakan hasil yang ditunjukkan adalah 0,00, maka akan dilakukan penelitian lebih lanjut dengan alat tersebut pada daerah tercemar gas SO₂ agar dapat mengkalibrasi alat dengan gampang dan lancar. Umumnya gas SO₂ pada wilayah Indonesia mempunyai kadar yang sangat kecil, tergantung wilayah perkotaan yang ada. Pada wilayah perkotaan yang sangat padat pun kadar gas SO₂ masih tergolong cukup kecil.

4. KESIMPULAN

Desain dari rancang bangun ini menggunakan sensor MQ-136 untuk pengukuran gas SO₂ dan sensor MQ-135 untuk pengukuran gas CO₂. Pembacaan dari sensor dilakukan menggunakan *microcontroller Arduino Uno R3* dan kode koding dari *Arduino IDE*. Metode deteksi udara yang digunakan oleh peneliti ini dapat mendeteksi konsentrasi pencemar secara kontinu dan dapat ditampilkan melalui laptop

(*Arduino IDE*) dan *Android (Blynk Apps)*. Sistem kerja pada *Android* menggunakan aplikasi *Blynk Apps*, dengan pembuatan kode program untuk LCD, LED, buzzer, serta sensor yang terhubung ke *smartphone* melalui jaringan *wireless*. Penggunaan fitur *value* sebagai data *real-time* memungkinkan pemantauan dan pemberian notifikasi kualitas udara melalui *smartphone* maupun email.

Nilai akurasi dan presisi dari alat. Untuk nilai akurasi alat tersebut masih belum mendekati dengan alat *aeroqual series 500*, dikarenakan nilai yang didapat oleh alat *aeroqual series 500* menunjukkan angka 0,00 ppm untuk parameter uji gas SO₂. Untuk nilai presisi alat tersebut sudah menunjukkan nilai presisi dengan alat *aeroqual series 500* dikarenakan nilai yang dihasilkan sudah sedikit mendekati atau memiliki nilai kedekatan yang baik yaitu 0,00 dengan 0,0014.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Jainal., Hasibuan, Ferawati Artauli. (2019). Pengaruh dampak pencemaran udara terhadap kesehatan untuk menambah pemahaman masyarakat awam tentang bahaya dari polusi udara. *Universitas Graha Nusantara: Fakultas Ilmu Keguruan dan Ilmu Pendidikan*.
- Andrianto H. 2008. Pemrograman mikrokontroler avr atmega16 menggunakan bahasa C (codeVision avr). *Bandung: Informatika*.
- Budiyono, Afif. (2001). Dampak pencemaran udara pada lingkungan. *Berita Dirgantara Vol. 2 No. 1*.
- Sebayang, Matius Arihta. (2017). Stasiun pemantau udara berbasis web. *Journal of Informatics and Telecommunication Engineering*. Medan: Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area.
- Sehabudin, Sendi. (2010). Penambahan karbon dioksida dan pengaruh densitas alga air tawar terhadap pengurangan emisi karbon

dioksida. *Jakarta: Universitas Syarif Hidayatullah.*

Treska, Fergo. (2013). Rancang bangun warning system dan monitoring gas sulfur dioksida (SO₂) Gunung Tangkuban Perahu via SMA Gateway berbasis mikrokontroler menggunakan sensor MQ-136. *Telekontran Vol. 1, No. 2.* Bandung: Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, UNIKO.