

MONARBU: Sistem *Monitoring* Partikel Debu di Area Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia

**Ahmad Khodi Inzaghi¹, Akram Faisaldinatha², Ichtiar Agung Adhavian³,
Hendra Setiawan^{4*}**

^{1,2,3,4} Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam, Yogyakarta

*Corresponding E-mail: hendra.setiawan@uii.ac.id

ABSTRAK

Area kampus Universitas Islam Indonesia merupakan tempat yang mempunyai tingkat mobilitas yang cukup tinggi pada saat masa perkuliahan, khususnya pada hari kerja. Debu yang berterbangan dan terbawa angin akan bercampur dengan udara yang dihirup oleh manusia, sehingga apabila jumlah debu yang terhirup cukup banyak maka akan berpotensi terjadinya keluhan di paru-paru. Mitigasi perlu dilakukan kedepannya terhadap kualitas udara yang semakin buruk, maka dari itu diperlukan data untuk kualitas udara yang dipengaruhi oleh partikel debu yang dapat membuat area kampus menjadi lebih baik. Dari data tersebut dapat dijadikan sebuah pertimbangan untuk pembuat kebijakan di area kampus Universitas Islam Indonesia. Sebagai langkah awal dalam *prototyping* sistem *monitoring* partikel debu di area kampus Universitas Islam Indonesia, hadirilah MONARBU yang merupakan alat *monitoring* partikel debu berbasis *Internet of Things* (IoT). Diharapkan dari adanya MONARBU ini dapat bermanfaat bagi pembuat kebijakan di Universitas Islam Indonesia. Sistem komunikasi menggunakan ESP8266 dengan interface menggunakan *Android Studio*. Informasi yang disediakan di sistem ini adalah nilai densitas debu PM10. Pengiriman data secara *real time* ke *Thingspeak* dan *Firebase*. Pengiriman data ke *Firebase* dilakukan setiap ± 15 detik sekali dan pengiriman ke *Thingspeak* dilakukan setiap ± 1 menit sekali. Pengujian di lapangan diperoleh nilai kesalahan pembacaan sebesar 18,6%. Sedangkan perkiraan harga jual produksi sistem ini sekitar dua juta rupiah.

Kata Kunci : *monitoring* debu, *Internet of Things*, *Thingspeak*, *Firebase*

ABSTRACT

The main campus of the Universitas Islam Indonesia has high level of activity and mobility during on weekdays. Dust that flies and is carried by the wind will mix with the air that is inhaled by humans, so that if the amount of dust inhaled is large enough, it will potentially cause problem in the lungs. Mitigation needs to be done in the future for air quality that is getting worse, therefore data is needed for air quality that is affected by dust particles that can make the campus area better. From this data, it can be used as a consideration for policy makers in the campus area of the Universitas Islam Indonesia. As an initial step in prototyping a dust particle monitoring system in the Universitas Islam Indonesia campus area, called MONARBU, which is an Internet of Things (IoT) based dust particle monitoring system. Hopefully, MONARBU can be useful for policy makers at the Universitas Islam Indonesia. The communication system uses ESP8266 with the interface using Android Studio. The information provided in this system is the PM10 dust density value. Realtime data delivery to Thingspeak and Firebase. Data is sent to Firebase every ± 15 seconds and sent to Thingspeak is done every ± 1 minute. Testing in the field obtained a reading error value of 18.6%. While the total cost required to make this system is around two million rupiah.

Keywords : *dust monitoring*, *Internet of Things*, *Thingspeak*, *Firebase*

I. PENDAHULUAN

Udara adalah salah satu komponen lingkungan sebagai kebutuhan mendasar bagi seluruh makhluk hidup yang ada di bumi untuk mempertahankan kehidupannya. Udara terdiri dari suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi, dimana komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan [1]. Komponen udara tersebut mempunyai perbandingan yang tidak tetap, dapat dipengaruhi oleh tekanan udara, suhu udara, dan kondisi lingkungan di sekitar. Adanya beberapa zat-zat asing di udara menyebabkan perubahan komposisi udara dalam keadaan normalnya. Perubahan terhadap komposisi udara itu dapat berupa sifat kimia dan fisik. Keadaan seperti itu biasa disebut dengan pencemaran udara. Kondisi udara yang mengandung satu atau lebih zat asing didalamnya dalam rentang waktu tertentu dan jumlah yang banyak dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan [2]. Salah satu contoh pencemaran udara yang terjadi diakibatkan oleh adanya butiran debu, dimana tingginya kadar debu dapat menyebabkan kadar oksigen menjadi berkurang [3].

Debu merupakan salah satu partikel yang melayang di udara (SPM / *Suspended Particulated Matter*) yang memiliki ukuran sebesar 1 *micron* – 500 *micron*. Partikel halus ini terbentuk karena pembakaran bahan bakar minyak, terutama partikulat halus yang disebut *Particulate Matter 10* (PM10) merupakan partikel debu yang berukuran 10 mikron [4]. Indeks Standar Pencemar Udara/ISPU (*Air Pollution Index/ API*) adalah laporan kualitas udara kepada masyarakat untuk menerangkan seberapa bersih atau tercemarnya kualitas udara kita dan bagaimana dampaknya terhadap kesehatan. Penetapan ISPU ini mempertimbangkan tingkat mutu udara terhadap kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, bangunan, dan nilai estetika [5]. Nilai Ambang Batas (NAB) adalah Batas konsentrasi polusi udara yang diperbolehkan berada dalam udara ambien. Standar kesehatan berdasarkan PP No. 41 tahun 1999 untuk PM10 adalah 150 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (24 jam) [6].

Debu merupakan salah satu sumber polutan udara yang mempunyai tingkat toksisitas cukup tinggi, dimana dapat menyebabkan penyakit paru apabila terhirup oleh manusia secara terus-menerus. Akibat penumpukan debu

pada paru dapat menyebabkan kelainan yang disebut dengan *pneumoconiosis*. *Pneumoconiosis* merupakan salah satu bentuk kelainan paru yang bersifat menetap dan dapat mengakibatkan berkurangnya elastisitas paru, ditandai dengan penurunan pada kapasitas vital paru [7]. Menurut *International Labour Organization* (ILO) sebesar 10%-30% manusia khususnya pekerja menderita penyakit paru, terdeteksi bahwa muncul kasus baru sekitar 40.000 kasus di dunia pada setiap tahunnya mengidap penyakit *Pneumoconiosis*.

Area kampus Universitas Islam Indonesia merupakan salah satu area yang cukup banyak dilalui oleh kendaraan. Menurut data dari *website* Universitas Islam Indonesia pada tahun akademik 2019/2020 mahasiswa yang aktif lebih dari 23.000 [8]. Bertambahnya mahasiswa baru di Universitas Islam Indonesia setiap tahunnya dapat berpotensi meningkatnya pencemaran udara di area kampus Universitas Islam Indonesia, dikarenakan sebagian besar mahasiswa masih menggunakan kendaraan bermotor sebagai alat transportasi untuk menuju ke kampus. Banyaknya mobilitas kendaraan pada hari kerja akan menyebabkan partikel-partikel debu berterbangan di udara. Debu yang berterbangan dan terbawa angin akan bercampur dengan udara yang dihirup oleh manusia, sehingga apabila jumlah debu yang terhirup cukup banyak maka akan berpotensi terjadinya penumpukan debu pada paru-paru. Peningkatan transportasi tidak hanya dirasakan di area kampus UII saja, melainkan di wilayah D.I Yogyakarta juga ikut terdampak seiring meningkatnya jumlah mobilitas masyarakat. Khususnya di Kota Yogyakarta, Menurut kabar *Harianjogja.com* peningkatan kendaraan rata-rata setiap tahun ada penambahan mobil baru sekitar 4% dan sepeda motor baru sekitar 6% [9].

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa kualitas udara yg disebabkan oleh debu dapat mengganggu kesehatan manusia yang berada di area kampus Universitas Islam Indonesia. Mitigasi perlu dilakukan kedepannya terhadap kualitas udara yang semakin buruk, maka dari itu diperlukan data untuk kualitas udara yang dipengaruhi oleh partikel debu yang dapat membuat area kampus menjadi lebih baik. Untuk menghindari masalah tersebut dibutuhkan beberapa kebijakan yang perlu diambil untuk mengurangi dampak dari kualitas udara yang

buruk. Dikarenakan pembuat kebijakan tidak bisa menentukan data kualitas udara yang dipengaruhi oleh partikel debu di kampus, maka diperlukan sistem *monitoring* yang menghasilkan data secara real untuk dasar kebijakan yang akan diambil.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan sistem *monitoring* debu untuk daerah kampus. Partikel debu di udara yang akan di *monitoring* berukuran 10 mikron (mikrometer) atau lebih. Udara yang di *monitoring* berada di ketinggian kurang dari 1,6 meter (sesuai dengan tinggi manusia). Selanjutnya kualitas udara harus bisa di *monitoring* secara *online* dari sembarang lokasi yang ada tersambung dengan internet. Sistem juga harus dapat menyimpan histori data dalam waktu yang cukup lama minimal 6 bulan. Keterbatasan dengan sumber energi listrik PLN juga menjadi pertimbangan tersendiri yang juga perlu dipertimbangkan dalam perancangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Kegiatan perancangan diawali dengan pengumpulan beberapa informasi terkait karakteristik lokasi dan model IoT yang diinginkan. Lokasi ada di kampus terpadu Universitas Islam Indonesia (UII) yang berada di jalan Kaliurang km 14,5 Yogyakarta. Kampus

perpadu UII mempunyai luas lahan 388.924m² dengan denah seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Denah dan bentangan kampus terpadu UII

Diliat dari denah dan bentangan lahan, diperlukan minimal tiga titik pengamatan yaitu di depan, di tengah dan di belakang. Namun dalam penelitian ini perangkat *monitoring* yang dibangun hanya satu unit saja dan dipasang di bagian tengah kampus.

Langkah selanjutnya dilakukan kajian terhadap beberapa model *monitoring* debu yang sudah ada. Hasil penelusuran diperoleh tiga model *monitoring* yang pernah dirancang sebelumnya. Ketiga model tersebut dirangkum dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1: Alternatif solusi yang dimungkinkan

Penulis	Usulan Solusi	Hasil / Evaluasi
A. Sulistyono & Suryono. (2016) [4]	Monitoring konsentrasi debu (sensor DSM501A) menggunakan mikrokontroler ATmega8535. Fitur USART (Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter) sebagai mode komunikasi serial.	Hasil pengukuran konsentrasi debu berhasil disimpan ke dalam basis data MySQL yang dapat dipantau Control Terminal Unit (CTU) meliputi data, tanggal, waktu, suhu, kelembaban, konsentrasi debu dan level konsentrasi. Namun belum dilakukan pengkalibrasian pada alat ukur sesuai standard dan pemantauan belum dapat dilakukan di berbagai tempat.
T. Tuesnadi, dkk. (2016) [10]	Monitoring polusi udara portabel yang berbasis koordinat GPS, menggunakan sensor GP2Y1010AU0F, mikrokontroler AVR timer ATmega32	Hasil informasi yang didapatkan lengkap karena selain menggunakan sensor debu juga menggunakan sensor yang dapat mengukur kadar suhu dan gas.
B. Junaidy. (2019) [11]	Pendeteksi dan penetralisir debu dan asap pada udara menggunakan sensor GP2Y1010AU0F dan MQ-2, berbasis Arduino Uno R3 Atmega328P	Hasil yang didapat adalah mendeteksi debu dan asap diudara pada ruangan tertentu menggunakan beberapa sampel debu dan asap, namun integrasi dengan IoT belum terlihat dengan jelas.

Berdasarkan hasil penelusuran tersebut, dapat dilihat bahwa secara umum sensor yang

digunakan untuk mengukur partikel debu adalah sensor GP2Y1010AU0F dan untuk

mikrokontroler yang umum digunakan adalah *Arduino UNO*. Berdasarkan observasi dari beberapa *marketplace*, harga beberapa komponen utama tersebut masih tergolong murah. Namun, untuk konsep IoT masih ditemukan beragam solusi. Sehingga untuk menyelesaikan masalah tersebut, proses tahapan observasi perlu dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pengguna melalui survei atau observasi langsung ke lokasi guna menentukan kebutuhan dan spesifikasi sistem yang sesuai.

Berdasarkan informasi yang didapatkan dari hasil survei dan pengamatan beberapa literatur/teknologi yang telah dikembangkan, maka kami menentukan daftar spesifikasi dari sistem yang akan dikembangkan sebagai solusi permasalahan yang diangkat, yaitu *monitoring* partikel debu di area kampus Universitas Islam Indonesia berbasis IoT. Berikut adalah daftar spesifikasi lengkapnya

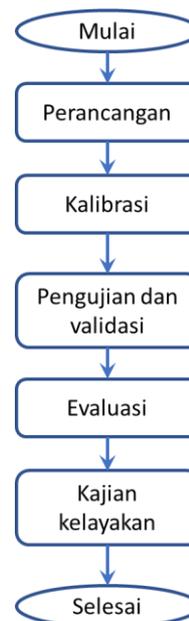
1. Sistem yang dibangun sebagai *prototyping* untuk mengukur jumlah intensitas partikel debu yang berterbangan di udara dalam lingkup Universitas Islam Indonesia dengan memberikan informasi berupa level status keadaan kandungan debu di udara.
2. Menggunakan sensor debu SHARP GP2Y1010AU0F untuk mendapatkan hasil dari jumlah debu dengan tingkat presisi yang baik.
3. Sistem menggunakan bahan dasar plastik untuk *casing* yang mampu tahan dari air hujan dan panas matahari mempunyai tinggi casing 20 cm, panjang *case* 14 cm, lebar *case* 7 cm, dan mempunyai radius lubang untuk masuknya angin ke dalam sensor sebesar 1,5 cm.
4. Komunikasi internet yang telah terhubung dengan *Cloud Server* menggunakan sistem komunikasi Wi-Fi dengan bantuan *Modem SIM Card* untuk mendapatkan koneksi internet. Pengiriman data dari alat akan di update kurang lebih setiap 1 menit sekali selama 24 jam.
5. Sumber energi menggunakan tegangan yang berasal dari PLN dengan tegangan sebesar 9 volt, serta dilengkapi dengan baterai cadangan sebesar 4800mAH.
6. Interface menggunakan *Web* dan *Android Studio* dengan tampilan berupa nilai intensitas debu, level status keadaan kandungan debu di

udara, dan hasil grafik setiap 1 menit sekali dan nilai real time.

III. METODOLOGI

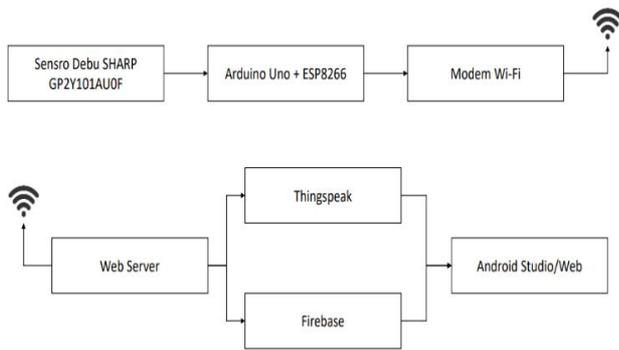
Tahapan kegiatan yang ditempuh dalam penelitian ini ditunjukkan dalam **Gambar 2**. Tahapan awal adalah perancangan yang kemudian dilanjutkan dengan kalibrasi pada bagian pembacaan sensor. Tahapan berikutnya adalah pengujian dan validasi menggunakan alat ukur standar yang ada. Dari hasil pengujian dan validasi digunakan sebagai dasar evaluasi dan kajian kelayakan sistem.

Secara umum sistem tersusun atas bagian *hardware* dan *software*. Secara fungsi, sistem juga terdiri dari dua bagian yaitu bagian pengirim dan penerima. Bagian pengirim terdiri dari sensor, *Arduino* dan *modem wifi*, sedangkan di bagian penerima terdiri dari *web server*, *thingspeak*, *firebase*, *android studio* dan *web* sebagaimana ditunjukkan di Gambar 3.



Gambar 2. Tahapan kegiatan

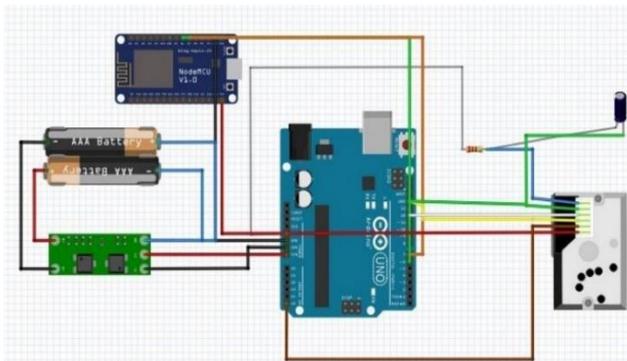
Sinyal dari sensor diterjemahkan oleh mikrokontroler yang kemudian dikirim penerima melalui *modem Wifi*. Di bagian penerima, *web server* terhubung dengan *Thingspeak* dan *Firestore* untuk *update data* secara *real time* yang selanjutnya terhubung dengan *android studio* atau *web* sebagai *user interface*-nya.



Gambar 3. Diagram blok sistem

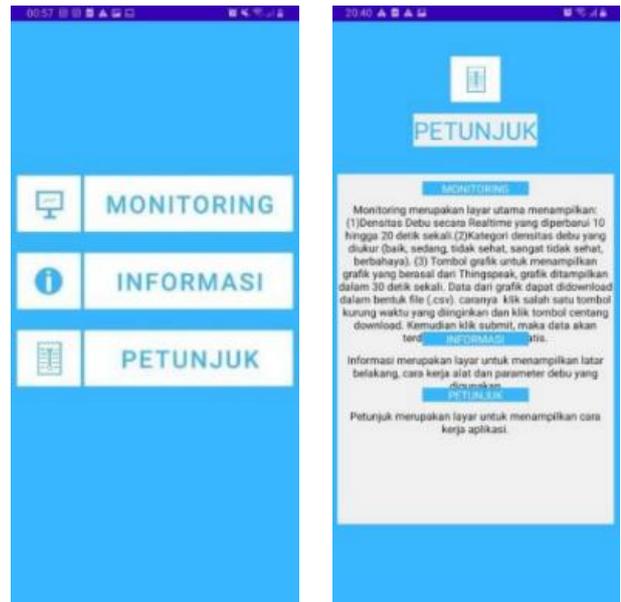
Casing pada alat monitoring debu memiliki dimensi ukuran 20cm × 14cm × 7cm. *Casing* ini memiliki bentuk seperti balok dimana pada sisi depan *body* terdapat satu lubang lingkaran dengan diameter 1,5cm, gunanya agar udara dapat masuk dan terbaca oleh sensor. Seluruh bagian pada casing menggunakan bahan plastik yang cukup kuat menahan panasnya matahari serta terlindung dari guyuran air hujan.

Rangkaian elektronis secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4. Sistem terdiri dari sebuah sensor debu SHARP GP2Y1010AU0F, mikrokontroler *Arduino UNO*, WiFi R3 ATmega328, dan ESP8266, dua buah baterai, dan modul *charger*.



Gambar 4. Rangkaian elektronis sistem

Sensor terhubung di pin A0, 3, GND, 5V pada *Arduino UNO*. Resistor dan kapasitor merupakan bagian dari rangkaian sensor. Sumber listrik adalah PLN yang terhubung dengan adaptor 9V sebelum masuk ke *charger* batere. Sedangkan tampilan antarmuka ke pengguna dirancang seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan antarmuka ke pengguna

Proses kalibrasi dilakukan pada dua titik yaitu bagian keluaran sensor sebelum masuk ke *Arduino* dan di pembacaan hasil pada sisi penerima. Proses penyesuaian dilakukan dengan mengatur persamaan hubungan konversi tegangan sensor dengan nilai digital hasil ADC (*analog to digital converter*).

Pada tahapan pengujian dan validasi digunakan alat ukur *Air Quality Index Monitor* sebagai pembanding dengan hasil pembacaan sistem yang dibuat. Selanjutnya pada tahapan evaluasi kajian kelayakan dilakukan analisis terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan, biaya yang diperlukan, serta kehandalan terhadap berbagai gangguan yang ada. Hasil setiap tahapan disajikan dalam bab berikut ini.

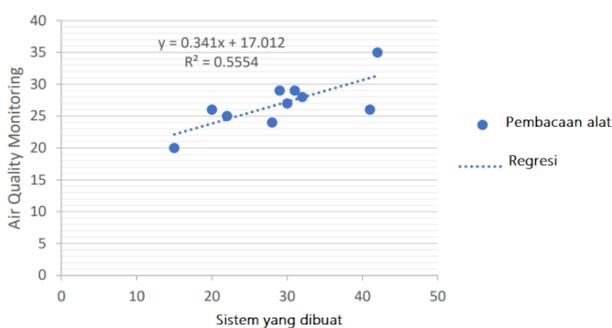
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem yang telah selesai dibuat ditunjukkan dalam Gambar 6. Alat tersebut dipasang di tengah kampus yang berlokasi di depan depan gedung Fakultas Psikologi dan Ilmu Sosial Budaya. Selanjutnya dilakukan pengujian yang terdiri dari pengujian akurasi nilai pembacaan dan pengujian fungsionalitas sistem *monitoring*.



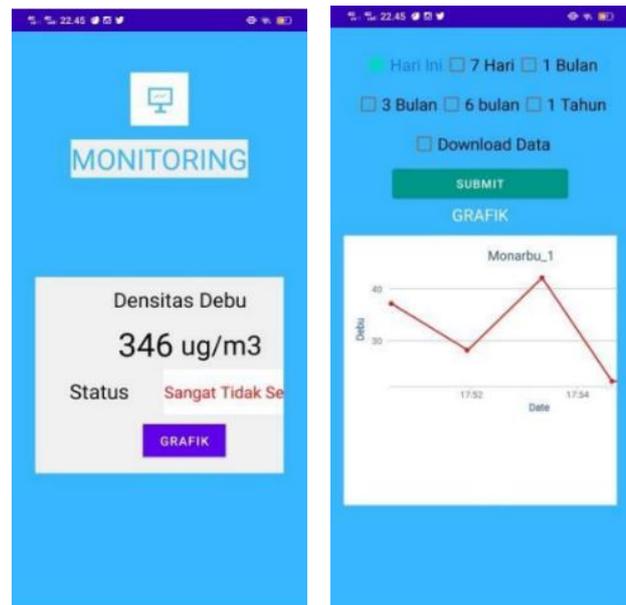
Gambar 6. Alat monitoring yang dihasilkan

Pengujian akurasi dilakukan untuk mendapatkan nilai akurasi/error antara hasil pembacaan alat yang dibuat dengan alat ukur lain. Alat ukur pembandingan yang digunakan adalah *Air Quality Index Monitor*. Hasil pengujian tersebut diperoleh nilai akurasi pembacaan sebesar 18%. Beberapa titik pembacaan ditunjukkan di Gambar 7.



Gambar 7. Hasil pengujian

Pengujian fungsionalitas dilakukan dengan pengamatan fungsi masing-masing komponen yang terlibat dalam sistem ini. Pengujian ini secara sepihak nampak dalam tampilan akhir informasi yang sampai ke pengguna sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Hasil tampilan di sisi pengguna

Hasil pengukuran kualitas udara PM10 di kampus terpadu UII menggunakan alat yang dibuat, diperoleh nilai $44\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nilai ini termasuk kategori “baik” berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika) [6] sebagaimana dapat dilihat di Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kategori Status Konsentrasi Debu PM10 di Udara

Hasil pengukuran ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Kategori
0-50	Baik
51 – 150	Sedang
151 – 350	Tidak Sehat
351 - 420	Sangat Tidak Sehat
> 420	Berbahaya

Sistem yang diberi nama MONARBU ini menghabiskan total biaya bahan baku sebesar Rp. 970.000,- atau masih dibawah satu juta rupiah dengan komponen termahal berupa Modem wifi dan *Arduino*. Dengan asumsi biaya produksi, *overhead*, distribusi, dan margin keuntungan sebesar Rp.1.000.000,-maka perkiraan harga jual produk berkisar di nilai Rp.2.000.000,-. Harga ini masih masuk akal untuk sistem *monitoring* berbasis IoT.

Selanjutnya, dilakukan analisis kelebihan dan kekurangan sistem MONARBU in untuk perbaikan dan penyempurnaan kedepan. Berdasarkan pengujian dan pengamatan yang dilakukan, diperoleh beberapa aspek kelebihan sistem ini, yaitu: (1) terdapat sumber batere

cadangan yang berfungsi sebagai *back-up* apabila sumber utama (PLN) mati, (2) sistem *monitoring* 24 jam, (3) kapasitas penyimpanan data yang besar (di *server*), (4) dapat dipantau dari mana saja melalui aplikasi di *smartphone*. Sedangkan beberapa kelemahan yang ditemukan selama proses pengujian adalah: (1) nilai akurasi yang masih di kisaran 18%, (2) belum ada fungsi rerata untuk beberapa data agar nilai pembacaan lebih stabil. Kelemahan ini dapat diperbaiki di pengembangan berikutnya.

V. KESIMPULAN

Pada makalah ini telah disajikan perancangan sistem monitoring debu di lokasi kampus terpadu Universitas Islam Indonesia dengan karakteristik hasil rancangan sebagai berikut:

1. Sistem menggunakan sensor GP2Y1010AU0F dan *Arduino UNO*, modul WiFi R3 ATmega328, dan ESP8266.
2. Sistem yang telah dibuat mampu mengetahui kondisi debu yang ada dengan akurasi $\pm 18,6\%$.
3. Hasil yang diperoleh yang diperoleh berfluktuasi setiap detik dalam rentang nilai akurasi di atas
4. Data pembacaan di lokasi alat terupdate setiap 15 detik, kemudian dikirim ke user setiap 1 menit.

Selanjutnya, dari hasil pengukuran yang dilakukan di area kampus UII, diperoleh nilai konsentrasi debu $44\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang berarti bahwa kondisi kualitas udara adalah baik.

PERNYATAAN

Terima kasih kepada program studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia yang telah membantu Sebagian pendanaan *capstone project* ini.

REFERENSI

- [1] Prabowo, K. and Muslim, B. "Penyehatan udara". Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan Badan Pengembangan Dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan, 2018

- [2] Hikmiyah, Amanda Fairuz. "Analysis of Dust and NO₂ Level in the Ambient Air and Sweeper's Respiratory Complaints in Purabaya Bus Station Sidoarjo." *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 10, no. 2 hlm: 138-148. 2018.
- [3] F. Muliawati and A. Seftiana, "Prototipe Sistem Otomatis Pengukuran Densitas Debu, Kelembaban Udara, Dan Suhu Ruang Berbasis Mikrokontroler Atmega 32 Untuk Sterilisasi Udara Pada Ruang Perakitan Lensa Kamera," *Juteks*, vol. 3, no. 1, p. 18-25, 2016.
- [4] A. Sulistiyo, "Wireless Sensor System Untuk Monitoring Konsentrasi Debu Menggunakan Algoritma Rule Based," *Youngster Phys. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 43-50, 2016.
- [5] A. Budiyo, "Index Kualitas Udara," *Ber. Dirgant.*, vol. 3, no. 1, pp. 1-14, 2010.
- [6] BMKG, "Informasi Konsentrasi Partikulat (PM10)" <https://www.bmkg.go.id/kualitas-udara/informasi-partikulat-pm10.bmkg> (accessed Feb. 26, 2021).
- [7] A. C. Meita, "Hubungan Paparan Debu dengan Kapasitas Vital Paru pada Pekerja Penyapu Pasar Johor Kota Semarang," vol. 1, 2012.
- [8] Universitas Islam Indonesia, "Sekilas UII - Penerimaan Mahasiswa Baru UII." Tersedia di <https://pmb.uui.ac.id/tentang%20universitas-%20islam-indonesia/> (accessed Feb. 26, 2021).
- [9] A.H. Razak, "Jumlah Kendaraan di Jogja Terus Bertambah, Rekayasa Lalu Lintas Jadi Solusi", *Harianjogja.com.*" tersedia di <https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2019/08/07/510/1010567/jumlah-kendaraan%20di-%20jogja-terus-bertambah-rekayasa-lalu-lintas-jadi-solusi> (accessed Feb. 26, 2021).
- [10] Tuesnadi, Tito, Sumardi Sumardi, and Budi Setiyono. "Rancang Bangun Sistem Monitoring Polusi Udara Portabel Berbasis Koordinat Gps (Global Positioning System)." *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 5, no. 2, hlm:111-116, 2016.

- [11] B. Junaidy, “Pendeteksi dan Penetralisir Debu dan Asap pada Udara Menggunakan Sensor GP2Y1010AU0F dan MQ-2 Berbasis Arduino Uno R3 Atmega 328P,” Laporan Tugas Akhir, Prodi D3 Fisika, Universitas Sumatera Utara, 2019.