

Rancang Bangun Alat Pendeteksi *Particulate Matter* 10 (pm10) Dilengkapi Sensor Suhu dan Kelembaban Pada Industri Pertambangan

Febrianto¹, Aryani Adami², Waode Erimelga Nurfitri³

^{1,2,3}D-III Teknologi Elektro Medis, Universitas Mandala Waluya

^{1,2,3} Jl.Jend. A.H Nasution Kota Kendari 93231

Corresponding author: Author (e-mail: Fery91227@gmail.com)

Abstrak

Aktivitas industri pertambangan berpotensi menghasilkan debu partikulat halus PM10 yang dapat membahayakan kesehatan pekerja apabila terpapar dalam jangka waktu tertentu. Selain itu, kondisi suhu dan kelembaban lingkungan kerja juga berpengaruh terhadap kenyamanan dan keselamatan kerja, sehingga diperlukan sistem pemantauan kualitas udara yang akurat dan mudah digunakan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menghasilkan alat pendeteksi PM10 yang dilengkapi sensor suhu dan kelembaban untuk mendukung keselamatan kerja di industri pertambangan. Alat ini diharapkan dapat memantau kualitas udara secara akurat, efisien, dan memberikan peringatan dini ketika konsentrasi PM10 melebihi ambang batas, sehingga risiko gangguan kesehatan pekerja dapat diminimalkan. Perancangan alat ini menggunakan mikrokontroler ATmega328 sebagai pusat kendali, dengan sensor GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi kadar PM10 serta sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD I2C 16x2 agar mudah diamati, sementara buzzer digunakan sebagai alarm jika kadar PM10 melampaui baku mutu. Sistem didukung baterai lithium-ion 18650 yang dilengkapi modul TP4056 untuk pengisian ulang serta boost converter sebagai penstabil tegangan. Proses perancangan meliputi pembuatan perangkat keras, pemrograman perangkat lunak, hingga pengujian akurasi sensor dengan membandingkan hasil terhadap alat pembanding standar. Berdasarkan hasil pengujian, alat mampu bekerja sesuai harapan. Sensor berhasil mendeteksi konsentrasi PM10 dan memberikan peringatan saat nilai melebihi 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk parameter suhu, sensor DHT22 menunjukkan selisih rata-rata sekitar 0,5°C dengan persentase error sebesar 1,8%, sedangkan pada pengukuran kelembaban diperoleh selisih rata-rata 1,2% dengan tingkat error sekitar 2,5% dibandingkan alat pembanding. Seluruh hasil pengukuran ditampilkan dengan jelas melalui LCD. Dengan demikian, alat ini dapat digunakan sebagai media pemantauan kualitas udara yang praktis di lingkungan pertambangan.

Kata kunci : PM10, Suhu, Kelembaban, Sensor GP2Y1010AU0F, Sensor DHT22, Mikrokontroler Atmega 328, Pertambangan.

Design and Build Particulate Matter 10 (pm10) Detection Device Equipped with Temperature and Humidity Sensors in the Mining Industry

Abstract

Mining activities have the potential to generate fine particulate matter (PM10), which can be harmful to workers' health if exposed to it over a prolonged period. Furthermore, the temperature and humidity of the work environment also impact comfort and safety, necessitating an accurate and user-friendly air quality monitoring system. This study aims to design and develop a PM10 detection device equipped with temperature and humidity sensors to support occupational safety in the mining industry. The device is expected to monitor air quality accurately and efficiently, as well as provide early warnings when PM10 concentrations exceed the permissible limits, thereby minimizing the risk of health problems for workers. The device was designed using an ATmega328 microcontroller as the main controller, with the GP2Y1010AU0F sensor for detecting PM10 levels and the DHT22 sensor for measuring temperature and humidity. The design of this device utilizes an ATmega328 microcontroller as the main controller, with a GP2Y1010AU0F sensor for detecting PM10 levels and a DHT22 sensor for measuring temperature and humidity. Measurement results are displayed on a 16x2 I2C LCD for easy observation, while a buzzer functions as an alarm if PM10 levels exceed the threshold. The system is powered by a lithium-ion 18650 battery equipped with a TP4056 charging module and a boost converter for voltage stabilization. The design process includes hardware development, software programming, and sensor accuracy testing by comparing results with a standard measuring instrument. The test results showed that the device performed as expected. The GP2Y1010AU0F sensor successfully detected PM10 concentrations and activated the alarm when the values exceeded 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. For temperature measurements, the DHT22 sensor showed an average deviation of 0.5°C with an error percentage of 1.8%, while humidity measurements had an average deviation of 1.2% RH with an error of 2.5% compared to the reference instrument. All measurement results were clearly displayed on the LCD, making it easier for users to monitor environmental conditions in real-time. Thus, the device can be used as a practical tool for air quality monitoring in mining environments. For future development, the device can be enhanced with an automatic data storage feature and integrated with an Internet of Things (IoT)-based system, allowing measurement results to be accessed remotely. In addition, improving the device's durability under extreme mining conditions should be considered to ensure greater reliability and longer operational life..

Keywords: PM10, Temperature, Humidity, GP2Y1010AU0F Sensor, DHT22 Sensor, ATmega328 Microcontroller, Mining.

I. PENDAHULUAN

Udara merupakan kebutuhan pokok makhluk hidup, namun kualitasnya sering terpengaruh oleh polusi, salah satunya debu atau partikulat. Debu termasuk *Particulate*

Matter (PM) yang melayang di udara dan berpotensi membahayakan kesehatan, khususnya di lingkungan industri pertambangan [1]. PM10 ($\leq 10 \mu\text{m}$) dapat terhirup ke saluran pernapasan hingga aliran darah,

menimbulkan gangguan pernapasan, kardiovaskular, hingga kanker paru. Regulasi di Indonesia menetapkan ambang batas PM10 sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per 24 jam dan $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tahunan [2].

Industri pertambangan menghasilkan debu PM10 melalui aktivitas penggalian, penghancuran, pengangkutan material, dan emisi mesin [3]. Paparan tinggi memperburuk kualitas udara serta meningkatkan risiko kesehatan pekerja. Berbagai penelitian sebelumnya mengembangkan perangkat pemantauan lingkungan, seperti helm pintar untuk deteksi CO dan kebisingan [4], alat berbasis IoT untuk deteksi CO dan kebisingan [5], serta sistem monitoring PM10 berbasis NodeMCU [6]. Namun, penelitian-penelitian tersebut terbatas karena hanya fokus pada parameter tertentu dan sering bergantung pada koneksi internet.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan alat pemantau yang lebih komprehensif. Penelitian ini merancang alat pendeteksi PM10 yang dilengkapi dengan sensor suhu (DHT22) dan kelembaban serta menggunakan sensor GP2Y1010AU0F untuk PM10. Data ditampilkan pada LCD dan alarm *buzzer* berbunyi bila kadar PM10 melebihi ambang batas. Alat akan ditempatkan di area tambang pada ketinggian 1,5–3 meter untuk memantau zona pernapasan pekerja. Tujuannya adalah menyediakan sistem monitoring kualitas udara yang lebih representatif, real-time, serta mendukung kesehatan dan keselamatan kerja di lingkungan pertambangan.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat tercipta perangkat monitoring yang tidak hanya memberikan informasi kualitas udara secara cepat, tetapi juga mampu menjadi dasar pengambilan keputusan dalam pengendalian polusi udara di area pertambangan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk pengembangan teknologi serupa di bidang industri lain yang memiliki potensi paparan partikulat tinggi.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen pembuatan alat yang menggunakan beberapa tahapan dalam mendesain alat mulai dari penyiapan alat dan bahan, perancangan blok diagram dan pembuatan skematik rangkaian. Setelah alat selesai dirangkai selanjutnya dilakukan uji coba.

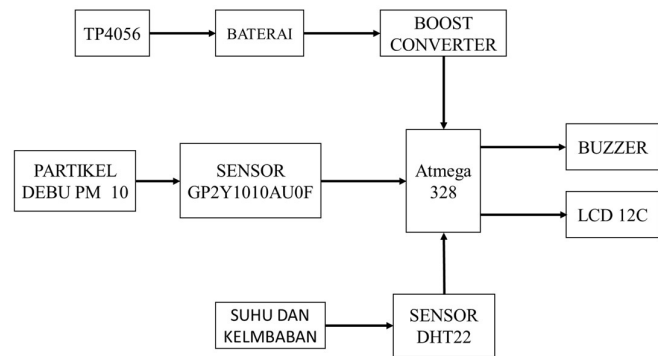
A. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroler ATmega328p, kristal/osilator, kapasitor, resistor, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, Sensor Gp2y1010au0f untuk mengukur partikel debu PM10, LCD (Liquid Crystal Display) 16x2 untuk menampilkan hasil pengukuran kadar PM10, Suhu dan kelembaban. Tp4056 sebagai modul untuk melakukan pengisian ulang, *Boost converter* sebagai penaik tegangan dari 3,7volt menjadi 5volt DC, *buzzer* sebagai indikator untuk mengeluarkan suara, baterai *Li-Ion* sebagai sumber tegangan, saklar *on/off*, dan port adaptor untuk mengisi tegangan pada baterai. Bahan

yang digunakan akan dirangkai sesuai skematik rangkaian kemudian disusun dalam kotak berukuran 13 x 5 x 9 cm. Alat kemudian dihubungkan ke aplikasi Arduino IDE untuk memasukkan program software yang telah dibuat.

B. Blok Diagram

Gambar 1 merupakan blok diagram dari alat rancang bangun alat pendeteksi particulate matter 10 (pm10) yang dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban pada industri pertambangan yang terdiri dari beberapa blok.



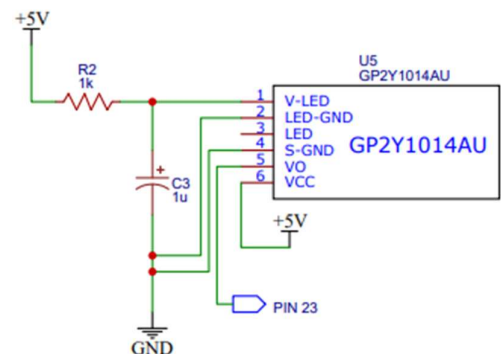
Gambar 1. Blok Diagram

C. Skematik Rangkaian

Rangkaian alat ini terdiri dari beberapa rangkaian yang terhubung dan memiliki fungsi masing-masing dalam mendukung proses pengukuran, pengolahan data, serta indikator peringatan.

a. Rangkaian Sensor Gp2y1010au0f

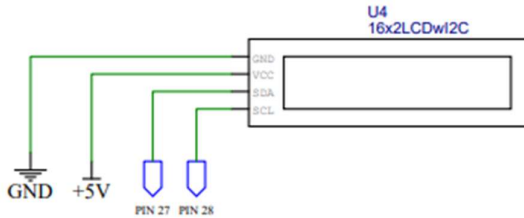
Sensor ini dirancang untuk mendeteksi konsentrasi partikel debu di udara. Pin V-LED menerima suplai daya melalui resistor R2 (1 kΩ) yang berfungsi sebagai pembatas arus untuk LED internal sensor. Pin VO adalah pin keluaran yang memberikan sinyal analog sesuai dengan konsentrasi debu yang terdeteksi, yang kemudian dihubungkan ke PIN 23 pada mikrokontroler untuk pembacaan data. Kapasitor C3 (1 μF) digunakan untuk menstabilkan tegangan suplai pada sensor. Pin GND dihubungkan ke *ground*, sedangkan VCC mendapatkan suplai daya sebesar +5V untuk mengaktifkan sensor. Rangkaian sensor ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian sensor Gp2y1010au0f

b. Rangkaian LCD

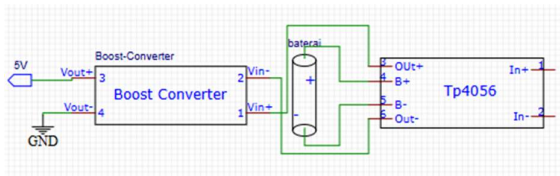
Rangkaian LCD ditunjukkan Gambar 3 yang digunakan yaitu jenis LCD dengan ukuran 16x2. LCD ini dihubungkan dengan modul konverter I2C yang terhubung pada pin SDA dan SCL mikrokontroler.



Gambar 3. Rangkaian LCD

c. Rangkaian Baterai

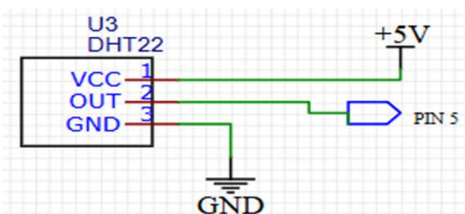
Sumber tegangan pada alat, digunakan baterai *Li-Ion* jenis 18650 yang dapat diisi ulang rangkaiannya ditunjukkan Gambar 4. Baterai jenis ini memiliki rating tegangan berkisar 3,7 - 4,2 volt. Untuk proses pengisian dan pengosongan baterai digunakan modul TP4056 yang akan mengontrol proses pengisian agar tidak terjadi *Overcharge* dan proses pengosongan yang dapat merusak baterai.



Gambar 4. Rangkaian Baterai

d. Rangkaian Sensor DHT22

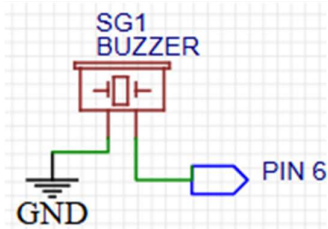
Rangkaian ini berfungsi untuk membaca data suhu dari lingkungan menggunakan sensor DHT22. Modul ini memiliki tiga pin utama, yaitu VCC, OUT, dan GND. Pin VCC dihubungkan ke sumber daya positif (+5V) untuk memberikan daya pada sensor, sementara pin GND dihubungkan ke ground untuk melengkapi rangkaian listrik. Pin OUT adalah pin data yang mengirimkan hasil pengukuran suhu (dan kelembaban) dalam bentuk sinyal digital dan mengirimkannya ke mikrokontroler untuk diproses atau ditampilkan. Rangkaian sensor DHT22 ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian sensor DHT22

e. Rangkaian Alarm

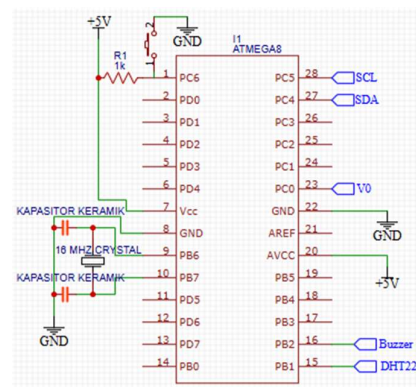
Rangkaian alarm ditunjukkan Gambar 6 yang terdiri dari sebuah buzzer (SG1) yang terhubung ke ground (GND) dan pin kontrol pada mikrokontroler (PIN 6). Buzzer akan aktif ketika mendapatkan sinyal dari mikrokontroler melalui PIN 6. Rangkaian ini digunakan untuk menghasilkan suara sebagai alarm atau indikator, yang diaktifkan berdasarkan logika kontrol dari mikrokontroler.



Gambar 6. Rangkaian Alarm

f. Rangkaian Sistem Minimum

Rangkaian sistem minimum ditunjukkan pada Gambar 7 berupa Mikrokontroler ATmega328 yang terintegrasi pada board arduino promini. Board ini kemudian diprogram menggunakan arduino IDE agar dapat mengontrol seluruh operasi alat.



Gambar 7. Sistem Minimum

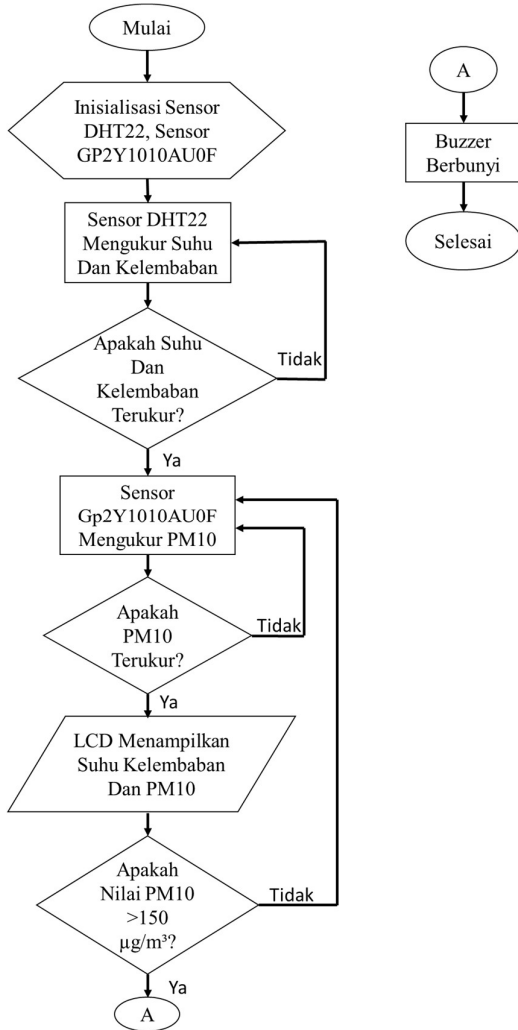
D. Diagram Alir Kerja Alat

Diagram alir di bawah menjelaskan proses kerja sistem pengukuran suhu, kelembaban, dan konsentrasi PM10 menggunakan sensor DHT22 dan GP2Y1010AU0F. Proses dimulai dengan inialisasi kedua sensor tersebut. Setelah itu, sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban, sedangkan sensor GP2Y1010AU0F digunakan untuk mengukur tingkat PM10 di udara.

Selanjutnya, sistem memeriksa apakah data suhu dan kelembaban berhasil terukur. Sistem juga memeriksa apakah data PM10 berhasil dideteksi. Jika semua data

berhasil diperoleh, LCD akan menampilkan informasi suhu, kelembaban, dan tingkat PM10.

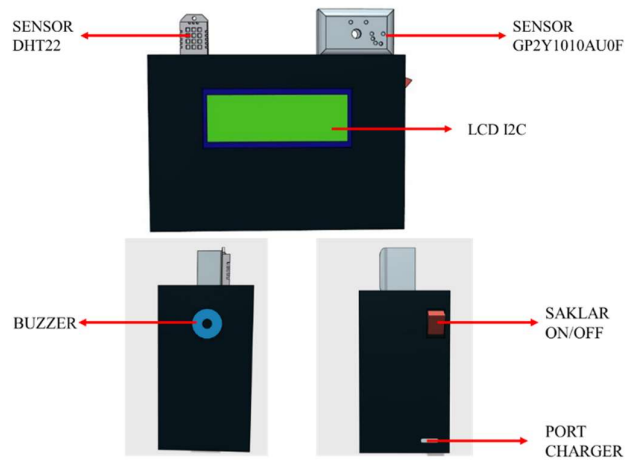
Pada langkah berikutnya, sistem memverifikasi apakah nilai PM10 yang terukur melebihi batas yang ditentukan. Jika nilai PM10 melebihi ambang batas ($> 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), *buzzer* akan berbunyi sebagai tanda peringatan. Setelah semua proses selesai, sistem kembali ke keadaan *standby*.



Gambar 8. Diagram Alir Kerja Alat

E. Desain Mekanik

Desain mekanik pada alat pendeteksi *Particulate Matter* 10 (PM10) yang dilengkapi sensor suhu dan kelembaban ini dirancang untuk mendukung penempatan serta kinerja seluruh komponen agar alat dapat bekerja secara optimal di lingkungan industri pertambangan. Perancangan mekanik meliputi bentuk, susunan, dan keterkaitan antar bagian mekanik sehingga alat mampu melindungi komponen elektronik serta memudahkan proses pengukuran dan pemantauan parameter lingkungan. Desain mekanik dari alat yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 9.



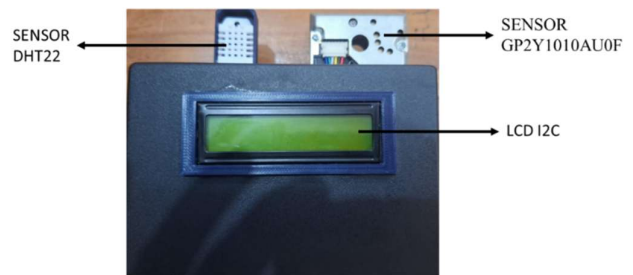
Gambar 9. Desain Mekanik

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka diperoleh alat yang dirancang adalah alat pendeteksi partikel *Particulate Matter* 10 (PM10) yang dilengkapi dengan sensor suhu dan kelembaban untuk digunakan pada industri pertambangan. Alat ini berfungsi mengukur konsentrasi debu PM10, suhu, dan kelembaban lingkungan kerja sebagai indikator kualitas udara. Sistem ini beroperasi menggunakan sumber tegangan 5V DC melalui *charger* sehingga dapat digunakan secara stabil dan efisien.

Alat pengukur partikel debu PM10, suhu dan kelembaban pada industri pertambangan ini menggunakan sensor GP2Y1010AU0F dan sensor DHT22. Ini merupakan hasil perkembangan penelitian. Gambar 11 merupakan hasil dari rangkaian luar dan dalam alat.



Gambar 10. Tampak Depan Alat

Pengukuran suhu dan kelembaban dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi sensor DHT22 yang digunakan pada alat. Hasil pengukuran sensor DHT22 kemudian dibandingkan dengan *thermohygrometer* sebagai alat pembanding. Pengambilan data dilakukan pada kondisi lingkungan yang sama agar diperoleh hasil yang representatif. Data hasil pengukuran suhu dan kelembaban selanjutnya disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data pengukuran suhu oleh sensor DHT22

No	Suhu pada <i>thermohygrometer</i> (°C)	Suhu pada alat (°C)
1.	29,8	29,5
2.	28,4	28,0
3.	27,1	27,0
4.	26,2	26,0
5.	25,3	25,1

Tabel 2. Data pengukuran kelembaban oleh sensor DHT22

No	Kelembaban pada <i>thermohygrometer</i> (%)	Kelembaban pada alat (%)
1.	64	64
2.	56	60
3.	56	63
4.	56	61
5.	57	60

Berikutnya pengukuran partikel debu PM10 dilakukan menggunakan sensor GP2Y1010AU0F. Proses pengukuran ini dilakukan dengan membandingkan hasil tegangan keluaran sensor terhadap karakteristik yang tercantum pada *datasheet* sebagai acuan pembandingan. Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan keluaran sensor, kadar PM10, serta respon *buzzer* pada nilai ambang batas tertentu. Data hasil pengukuran partikel debu PM10 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan VR1 digunakan untuk menentukan kadar PM10 dan aktivasi *buzzer*.

No.	Vr1 (v)	Kadar PM10 (µg/m ³)	Kadar PM10 (mg/m ³)	Buzzer
1.	0,92v	3,6	0,0036	Tidak
2.	1,01v	22,1	0,0221	Tidak
3.	1,15v	49,5	0,0495	Tidak
4.	1,30v	80,7	0,0807	Tidak
5.	1,48v	116,9	0,1169	Tidak
6.	1,65v	150,1	0,1501	Berbunyi
7.	2,45v	309,3	0,3093	Berbunyi
8.	2,94v	318,0	0,3180	Berbunyi
9.	3,52v	523,1	0,5321	Berbunyi
10.	3,75v	571	0,5710	Berbunyi

B. Pembahasan

Alat pendeteksi particulate matter 10 (PM10) berbasis mikrokontroler ATmega328 berhasil dirancang dengan menggunakan sensor GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi kadar debu [7], sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban [8], serta ditunjang LCD 16x2 sebagai penampil hasil [9], dan *buzzer* sebagai indikator *alarm* [10]. Perangkat ini bersifat portabel dengan sumber daya

utama berupa baterai *lithium-ion* 18650 bertegangan 3,7 V [11], dilengkapi modul *charger* TP4056 sebagai pengisi daya *charger* [12], dan *step-up converter* yang menstabilkan tegangan menjadi 5 V [13]. Dimensi alat berukuran 13 × 5 × 9 cm.

Sensor DHT22 merupakan sensor digital yang berfungsi untuk mengukur temperatur dan kelembaban udara. DHT22 mempunyai kemampuan pengukuran yang lebih unggul dibandingkan sensor-sensor temperatur lainnya [14]. Salah satu keunggulannya adalah dapat mengukur temperatur dalam jangkauan suhu -40°C hingga 125°C. Sensor ini memiliki output berupa sinyal digital. Sensor ini menampilkan penyesuaian dan kompensasi suhu ruangan yang tepat dengan nilai koefisien yang disimpan dalam memori OTP *on-board*.

Pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran alat dengan *thermohygrometer* sebagai alat pembandingan. Berdasarkan analisis data pada Tabel 1 dan 2 diperoleh selisih pengukuran suhu sebesar 0,24 dengan % error sebesar 0,7% dan efektivitas 99,18%. Sementara pada pengujian kelembaban, hasil analisis data pada Tabel 4.5 menunjukkan selisih nilai sebesar 3,8 dengan % error sebesar 2,54% dan efektivitas alat sebesar 93,28%. Perbedaan hasil pengukuran suhu dan kelembaban ini disebabkan karena akurasi dari modul sensor, kondisi lingkungan sekitar pada saat pengambilan data dan waktu responds sensor yang terlalu cepat dibandingkan alat pembandingan [15].

Sensor GP2Y1010AU0F merupakan sensor debu yang berbasis inframerah dengan menerapkan prinsip kerja cahaya dicermin pada partikel yang melewati sensor [16]. Cara kerja sensor ini adalah mendeteksi debu atau partikel yang melewati LED dan sensor *photodiode* di dalam modul [17]. Perubahan intensitas yang dideteksi oleh sensor *photodiode* akan merepresentasikan densitas debu. Cahaya dipancarkan oleh LED dan inframerah, kemudian pada saat ada partikel yang melewati cahaya tersebut, cahaya akan dipantulkan oleh partikel kemudian pantulan cahaya ini akan ditangkap oleh *photodiode* dan diubah sinyalnya menjadi tegangan [18]. Tegangan harus diperkuat untuk dapat membaca perubahan. Output dari sensor adalah tegangan analog sebanding dengan kepadatan debu yang terukur, dengan sensitivitas 0.5V/0.1mg/m³. Nilai ini berarti artinya setiap 0,1 mg/m³ kepadatan debu yang terukur, maka tegangannya naik sebesar 0,5 V.

Akibat keterbatasan alat yang tersedia di laboratorium sebagai alat pembandingan, maka pada proses kalibrasi pengukuran kadar PM10 menggunakan sensor GP2Y1010AU0F pada alat ini menggunakan grafik hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan kadar debu yang terdapat pada *datasheet* sensor. Nilai ini kemudian diterjemahkan ke dalam persamaan untuk dimasukkan ke dalam program.

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 3 data diperoleh pada tegangan 1,01 volt menunjukkan kadar PM10 sebesar 3,6 µm/m³, pada tegangan sebesar 1, 48 volt

diperoleh kadar PM10 sebesar 22,10 $\mu\text{m}/\text{m}^3$, pada tegangan sebesar 2,49 volt diperoleh kadar PM10 sebesar 318, $\mu\text{m}/\text{m}^3$, dan pada tegangan 3,75 volt diperoleh kadar PM10 sebesar 571 $\mu\text{m}/\text{m}^3$. Tegangan 3,75 volt merupakan tegangan maksimal yang dapat dicapai oleh sensor. Hal ini sesuai dengan grafik pada *datasheet* yang menunjukkan bahwa tegangan maksimal sensor adalah 3,75 volt.

Berdasarkan baku mutu udara ambien sesuai Peraturan Pemerintah NO 22 Tahun 2021. kadar PM10 di udara maksimal sebesar 150 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ [19]. Apabila kadar PM10 di udara melebihi baku mutu ini maka lingkungan akan mengalami pencemaran yang berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan, iritasi mata, serta penyakit kardiovaskular [20]. Dalam rangka menjaga keselamatan pekerja di industri pertambangan, maka alat ini juga dilengkapi dengan indikator *buzzer* yang berbunyi apabila kadar PM10 lebih dari 150 $\mu\text{m}/\text{m}^3$. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, *buzzer* berbunyi pada saat kadar PM10 di atas 150 $\mu\text{m}/\text{m}^3$ dengan tegangan luaran sensor di atas 1,65 volt.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yaitu Alat pendeteksi PM10, suhu dan kelembaban berhasil dibuat dengan menggunakan sensor GP2Y1010AU0F sebagai sensor PM10, DHT22 sebagai sensor suhu dan kelembaban serta mikrokontroler Atmega328 sebagai pusat kendali. Sensor ini mampu memberikan perkiraan konsentrasi debu di udara dan mengaktifkan *buzzer* apabila nilai PM10 melebihi 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa dukungan dari Laboratorium Workshop Prodi D-III Teknologi Elektro-Medis Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Mandala Waluya. Ucapan terima kasih atas segala fasilitas dan sumber daya yang telah disediakan. Penulis juga menyampaikan apresiasi yang tulus kepada semua individu yang telah berpartisipasi dan berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian dan artikel ini.

REFERENSI

- [1] Z. Rian Dwi, "Analisa Polusi Udara Dari Gas Buang Mesin Induk Di Mv. Emerald Indah Pt. Indomaritime Management." [Online]. Available: [Http://Repository.Unimar-Amni.Ac.Id/2148/](http://Repository.Unimar-Amni.Ac.Id/2148/)
- [2] Kemenkes, "Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit Dengan Rahmat Tuhan Yang Maha Esa Menteri Kesehatan Republik Indonesia, Menimbang," 2019.
- [3] O. S. Laeila Apsari, Budiyono, "Hubungan Paparan Debu Terhirup Dengan Gangguan Fungsi Paru Pada Pekerja Pertambangan

- Pasir Dan Batu Perusahaan X Rowosari Kota Semarang," Vol. 6, No. 4, Pp. 463–476, 2018.
- [4] M. S. Abidin, D. K. Sutiari, And R. U. Kasih, "Inovasi Sistem Pengukuran Berat Dan Panjang Bayi Berbasis Linear Gantry Dengan Penyimpanan Data," No. 0401, 2025.
- [5] E. Pramudito Herlambang, Antonius Edy Kristiyono, "Rancang Bangun Detektor Karbon Monoksida (Co) Dengan Mq-7 Berbasis Internet Of Things." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/393865134_rancang_bangun_detektor_karbon_monoksida_co_dengan_mq-7_berbasis_internet_of_things
- [6] L. S. Fariani, Husein, La Hasanudin, "Rancang Bangun Sistem Pemantau/Monitoring Kualitas Udara Pm10 Berbasis Iot (Internet Of Things)." [7] Mybotic, "How To Interface With Optical Dust Sensor." [Online]. Available: <https://www.instructables.com/how-to-interface-with-optical-dust-sensor/>
- [8] B. E. Y. Achmad Ridho, Kukuh Setyadjit, "Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Budidaya," Pp. 20–26, 2023.
- [9] R. A. Sapriska, "Kata Kunci : Pendeteksi Dan Pembatas Jumlah Orang, Arduino, Sensor Gerak (Pir)," No. 41408110059, P. 20, 2023.
- [10] H. Al Fani, D. Hartama, And I. Gunawan, "Perancangan Alat Monitoring Pendeteksi Suara Di Ruangan Bayi Rs Vita Insani Berbasis Arduino Menggunakan Buzzer," Vol. 4, Pp. 144–149, 2020, Doi: 10.30865/Mib.V4i1.1750.
- [11] J. V. Sibarani And I. Pranoto, "Studi Eksperimental Kinerja Sistem Pendinginan Baterai Lithium-Ion Talenta Conference Series Studi Eksperimental Kinerja Sistem Pendinginan Baterai Lithium-Ion 18650 Berbasis Liquid Cold Plate," Vol. 6, No. 1, Pp. 0–7, 2023, Doi: 10.32734/Ee.V6i1.1804.
- [12] H. Jasman, "Alat Vital Sign Portable Dengan Parameter Spo2 Dan Heart Rate Dilengkapi Layar Tft Berbasis Esp32 Portable Vital Sign Device With Spo2 And Heart Rate Parameters Equipped With Esp32-Based Tft Screen," Vol. 6, No. 1, Pp. 9–16, 2025.
- [13] S. Meliala, "Analisis Tegangan Keluaran Dc Step-Up Cuk Konverter Menggunakan Fuzzy Logic Kontroler," 2016.

- [14] Azhar, "Design Of Monitoring System Temperature And Humidity Using Dht22 Sensor And Nrf24l01 Based On Arduino Design Of Monitoring System Temperature And Humidity Using Dht22 Sensor And Nrf24l01 Based On Arduino," 2023, Doi: 10.1088/1742-6596/2421/1/012018.
- [15] H. Suryantoro, "Prototipe Dehumidifier Untuk Monitoring Kelembaban Laboratorium Biomedis Menggunakan Sensor Dht22 Dan Peltier Tec1-12706 Berbasis Arduino." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/378350161_Prototipe_Dehumidifier_Untuk_Monitoring_Kelembaban_Laboratorium_Biomedis_Menggunakan_Sensor_Dht22_Dan_Peltier_Tec1-12706_Berbasis_Arduino
- [16] Y. R. Rizky Nelar Lesmana, "Membangun Sistem Pemantau Kualitas Udara Dalam Ruangan Dengan," Vol. 3, Pp. 1–6, 2002.
- [17] I. Ariska, "Rancang Bangun Sistem Kendali Kualitas Udara Indoor Menggunakan Sensor Debu Optik Gp2y1010au0f Dan Sensor Gas Mq-135 Berbasis Internet Of Things," 2025.
- [18] F. Hasyim And I. Suharjo, "Sistem Notifikasi Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Produksi Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Esp8266," Vol. 17, No. 1, Pp. 149–158, 2024.
- [19] Maulydia, "(Studi Kasus : Kawasan Pasar , Stasiun Kereta Api , Dan Pantai Gandorih Kota Pariaman) Tugas Akhir Fakultas Teknik-Universitas Andalas," 2024.
- [20] F. Verojenases, A. Silaban, S. Kristian, And A. Banjarnahor, "Identifikasi Kadar Pm2 , 5 , Pm10 , Co , Dan Co 2 Di Sekitar Pltu Teluk Sepang Menggunakan Air Quality Detector," Vol. 14, No. 4, Pp. 368–378, 2025.