

HALAMAN SAMPUL LAPORAN PROYEK AKHIR

LAPORAN PROYEK AKHIR



LAPORAN PENGEMBANGAN PRODUK PROYEK AKHIR

Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT

Disusun Oleh:

13323009	:	Wina Sorta Maria Gea
13323028	:	Eru Tumanggor
13323040	:	Francisko Lumbantoruan

PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI KOMPUTER
FAKULTAS VOKAS
INSTITUT TEKNOLOGI DEL
2025

HALAMAN JUDUL LAPORAN PROYEK AKHIR

LAPORAN PROYEK AKHIR



LAPORAN PENGEMBANGAN PRODUK PROYEK AKHIR

Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT

Disusun Oleh:

13323009	:	Wina Sorta Maria Gea
13323028	:	Eru Tumanggor
13323040	:	Francisko Lumbantoruan

PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI KOMPUTER
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI DEL
2025

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL LAPORAN PROYEK AKHIR	1
HALAMAN JUDUL LAPORAN PROYEK AKHIR.....	2
DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR TABEL.....	5
DAFTAR GAMBAR	6
1.1. PENDAHULUAN.....	7
1.1.1. Tujuan Penulisan Dokumen.....	8
1.1.2. Latar Belakang Produk	9
1.1.3. Tujuan Produk	9
1.1.4. Ruang Lingkup Produk	10
1.1.5. Manfaat Produk	10
1.1.6. Definisi dan Singkatan	11
1.1.7. Referensi.....	12
1.2. DESKRIPSI UMUM PRODUK.....	12
1.2.1. Permasalahan dan Persoalan	13
1.2.2. Produk yang menjadi Inspirasi.....	13
1.2.3. Produk yang akan dibangun	14
1.2.4. Konteks.....	15
1.2.5. Deskripsi Kebutuhan Produk.....	16
1.2.6. Environment Hardware dan Software	17
1.2.7. Metodologi dan Tools Pengembangan	18
1.2.7.1. Metodologi.....	18
1.2.7.2. Tools Pengembangan.....	19
2.1. PENDAHULUAN.....	20
2.2.1. Project Organization	21
2.2.2. Work Breakdown Structure (WBS).....	22
2.2.3. Budget.....	24
2.2.4. Tools	24
2.2.5. Resiko dan Hambatan.....	25
3.1. PENDAHULUAN.....	27
3.2. DESKRIPSI PRODUK DESIGN.....	28
3.2.1. Arsitektur Sistem.....	28
3.2.2. Desain Rangkaian Elektronik/Skematik Desain.....	29
3.2.3. Disain Rangkain PCB	30
3.2.4. Mekanisme Komunikasi Data	31

3.2.5. Desain Fisik/Case Hardware	32
4.1. PENDAHULUAN.....	35
4.2. DESKRIPSI	35
4.2.1. Prinsip Implementasi	36
4.2.2. Lingkungan Pengembangan Terintegrasi (IDE).....	36
4.2.3. Implementasi Desain PCB	37
4.2.4. Implementasi Desain Fisik/Desain Case Hardware.....	39
4.2.5. Integrasi Hardware dan Software.....	40
BAB V PRODUCT TESTING (PT) (PENGUJIAN PRODUK)	46
5.1. PENDAHULUAN.....	46
5.2. DESKRIPSI PENGUJIAN	46
5.2.1. Pengujian Sensor DHT22.....	47
5.2.2. Pengujian Sensor SGP30.....	50
5.2.3. Pengujian Sensor GP2Y10.....	53
5.3.1. Pengujian Integrasi Software dan Hardware	55
BAB VI PRODUCT RELEASE (PR) (PELUNCURAN PRODUK).....	56
6.1. PENDAHULUAN.....	56
6.2. DESKRIPSI	56
6.3. DAYA GUNA PRODUK	57
6.4. POSTER PRODUK.....	57
6.5. PERILISAN PRODUK (OPSIONAL).....	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR TABEL

Table 1 Definisi dan Singkatan	11
Table 2 Environment Hardware	17
Table 3 Environment Software.....	18
Table 4 Tools yang Pengembangan.....	19
Table 5 Budget yang diperlukan.....	24
Table 6 Tools.....	25
Table 7 ukuran komponen utama	33
Table 8 Hasil pengujian sensor DHT22 Hari 1	47
Table 9 Hasil pengujian sensor DHT22 Hari 2	48
Table 10 Hasil pengujian sensor DHT22 Hari 3	48
Table 11 Hasil Pengujian Sensor SGP30 Hari 1	50
Table 12 Hasil Pengujian Sensor SGP30 Hari 2	51
Table 13 Hasil Pengujian Sensor SGP30 Hari 3	51
Table 14 Hasil Pengujian Sensor GP2Y10 Hari 1.....	53
Table 15 Hasil Pengujian Sensor GP2Y10 Hari 2.....	54
Table 16 Hasil Pengujian Sensor GP2Y10 Hari 3.....	54
Table 17 Pengujian Integrasi	55

DAFTAR GAMBAR

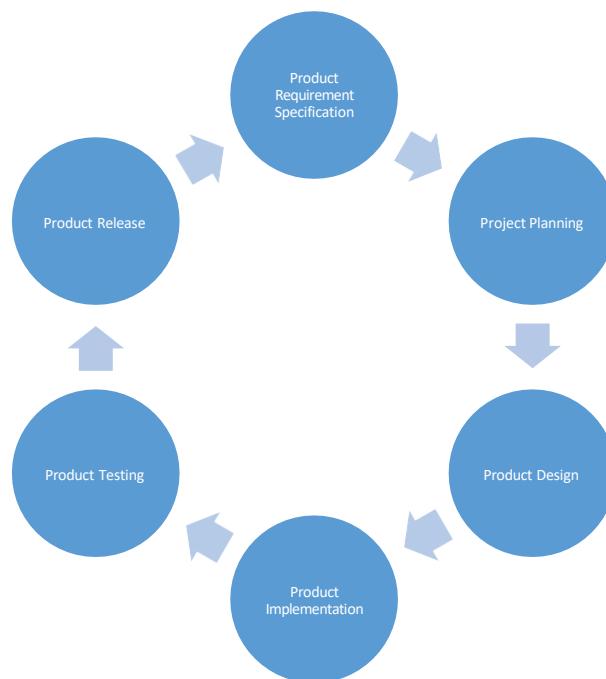
Gambar 1 Siklus Hidup Pengembangan Produk	7
Gambar 2 Diagram Interaksi Antarmodul	16
Gambar 3 Project organization.....	21
Gambar 4 Work Breakdown Structure	23
Gambar 5 Arsitektur Sistem Hardware	28
Gambar 6 Desain Skematik.....	29
Gambar 7 Desain PCB	30
Gambar 8 Mekanisme komunikasi data	31
Gambar 9 Tampak dari depan desain Fisik/Case Hardware.....	34
Gambar 10 Implementasi Desain PCB dari bagian depan.....	37
Gambar 11 Implementasi Desain PCB tampak dari belakang.	38
Gambar 12 Implementasi Desain Fisik.....	39
Gambar 13 Grafik data Suhu.....	49
Gambar 14 Grafik data kelembaban.....	49
Gambar 15 Grafik data TVOC	52
Gambar 16 Grafik data eCO2.....	53
Gambar 17 Poster Produk	58

BAB I

PRODUCT REQUIREMENT SPECIFICATION (SPESIFIKASI KEBUTUHAN PRODUK)

1.1. PENDAHULUAN

Dokumen ini merupakan bagian awal dari proses pengembangan *sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT* yang bertujuan untuk mendefinisikan kebutuhan produk secara rinci. Sistem ini dikembangkan untuk memantau parameter kualitas udara, seperti suhu, kelembapan, kadar CO₂, dan partikel debu secara real-time, menggunakan sensor dan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan platform digital. Bagian ini menjelaskan kebutuhan pengguna, batasan sistem, serta spesifikasi awal produk dari aspek perangkat keras maupun perangkat lunak. Penentuan kebutuhan ini menjadi dasar bagi proses perancangan, implementasi, dan pengujian produk. Pengembangan produk dilakukan secara sistematis dengan mengacu pada siklus hidup pengembangan produk yang terdiri dari beberapa tahap utama, yaitu:



Gambar 1 Siklus Hidup Pengembangan Produk

Dalam pengembangan *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT*, terdapat beberapa tahapan penting yang harus dilalui. Pertama, adalah Product Requirement Specification yang berfungsi untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna serta menentukan fitur utama sistem,

baik dari sisi perangkat keras seperti sensor dan mikrokontroler, maupun perangkat lunak untuk sistem monitoring. Selanjutnya, tahap Project Planning yang mencakup penyusunan rencana pengembangan secara menyeluruh. Tahap ini meliputi jadwal pelaksanaan, pengelolaan sumber daya, estimasi biaya, pembagian tugas dalam tim, serta analisis risiko yang mungkin muncul selama proses pengembangan.

Pada tahap Product Design, dilakukan perancangan arsitektur sistem, rancangan rangkaian elektronik, antarmuka pengguna, serta alur komunikasi data antar komponen yang akan digunakan dalam sistem. Setelah desain selesai, tahap Product Implementation dilaksanakan dengan membangun sistem sesuai rancangan, termasuk pembuatan rangkaian elektronik, pemrograman perangkat, dan integrasi sensor dengan platform IoT.

Tahap berikutnya adalah Product Testing, di mana dilakukan pengujian menyeluruh untuk memastikan bahwa perangkat keras dan perangkat lunak berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Terakhir, pada tahap Product Release, sistem diluncurkan ke lingkungan operasional dan disertai dengan dokumentasi serta panduan penggunaan agar pengguna akhir dapat memanfaatkan sistem secara maksimal.

Dokumen ini diharapkan menjadi acuan utama dalam proses pengembangan produk, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga peluncuran sistem. Dengan pendekatan pengembangan yang sistematis dan terstruktur, produk yang dihasilkan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pengguna secara optimal serta beroperasi dengan andal.

1.1.1. Tujuan Penulisan Dokumen

Dokumen ini dibuat dengan tujuan sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran sistem agar tim memiliki pemahaman dan arah kerja yang jelas.
2. Mendokumentasikan spesifikasi teknis untuk meminimalkan kesalahan saat pengembangan.
3. Menjadi pedoman bagi pengembang dan pengguna terkait ruang lingkup dan tujuan proyek.
4. Fokus pada pembuatan prototipe sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT.
5. Mengarahkan pengembangan agar efisien dan menghasilkan pemantauan kualitas udara real-time dengan aplikasi Blynk

1.1.2. Latar Belakang Produk

Kualitas udara di dalam ruangan memiliki peran penting dalam mendukung kenyamanan, kesehatan, dan kelancaran aktivitas pengguna. Udara yang tampak bersih belum tentu bebas dari polutan berbahaya. Tanpa kita sadari, ruang tertutup dapat menyimpan kandungan gas karbon dioksida yang tinggi, senyawa organik mudah menguap, serta partikel debu halus yang tidak kasat mata. Jika dibiarkan tanpa pemantauan, kondisi ini dapat berdampak pada kesehatan, mulai dari gangguan pernapasan ringan hingga penurunan konsentrasi saat beraktivitas.

Di lingkungan kampus, banyak ruangan seperti ruang belajar dan laboratorium yang dipakai setiap hari oleh mahasiswa dan dosen. Namun, belum tersedia alat pemantau udara yang terintegrasi sehingga kualitas udara di dalam ruangan tersebut tidak dapat terpantau secara langsung. Akibatnya, pengguna ruangan tidak memiliki informasi yang cukup untuk mengetahui apakah kondisi udara masih dalam batas aman atau tidak.

Jika kondisi ini tidak segera ditangani, udara dalam ruangan yang tidak terpantau dapat menyebabkan berbagai dampak negatif, seperti kelelahan, gangguan pernapasan, hingga penurunan daya fokus. Dalam jangka panjang, hal ini berpotensi memengaruhi kenyamanan belajar dan bekerja, khususnya di lingkungan akademik yang membutuhkan konsentrasi tinggi.

Munculnya teknologi Internet of Things menjadi peluang besar untuk menciptakan sistem pemantauan udara yang lebih efisien dan informatif. Oleh karena itu, dikembangkan prototipe sistem berbasis ESP32 dan aplikasi Blynk yang mampu menampilkan data suhu dan kelembapan melalui sensor DHT22, konsentrasi gas CO₂ ekivalen dan senyawa VOC melalui sensor GY-SGP30, serta partikel debu halus PM2.5 melalui sensor GP2Y10 secara real-time melalui perangkat seluler.

Dengan adanya sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT ini, pengguna dapat memperoleh informasi aktual mengenai kondisi udara dalam ruangan dan mengambil tindakan secara manual jika diperlukan, seperti membuka ventilasi atau menyalakan sirkulasi udara. Selain menjawab kebutuhan nyata akan pemantauan kualitas udara, proyek ini juga menjadi sarana implementasi langsung dari ilmu yang telah dipelajari dalam bidang sistem tertanam, komunikasi data, serta pemrograman IoT.

1.1.3. Tujuan Produk

Tujuan dari pengembangan produk *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT* adalah:

1. Membuat sistem monitoring kualitas udara yang mampu mengukur suhu,

kelembapan, kadar CO₂ ekivalen, senyawa VOC, dan partikel debu halus melalui PM2.5 secara otomatis dan real-time.

2. Menyediakan informasi kondisi udara yang dapat diakses dengan mudah oleh pengguna melalui perangkat seluler menggunakan aplikasi blynk.

1.1.4. Ruang Lingkup Produk

Ruang lingkup dalam pengembangan *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* mencakup:

1. Pemantauan suhu dan kelembapan udara di dalam ruangan menggunakan sensor DHT22.
2. Pengukuran kadar gas karbon dioksida ekivalen (eCO₂) dan senyawa organik mudah menguap (VOC) menggunakan sensor GY-SGP30.
3. Deteksi konsetrasi partikel debu halus menggunakan sensor GP2Y10.
4. Pengiriman data sensor secara real-time ke aplikasi Blynk melalui jaringan WiFi menggunakan mikrokontroler ESP32.
5. Penyajian informasi kualitas udara dalam bentuk antarmuka yang mudah dipahami oleh pengguna pada perangkat seluler.
6. Produk ini bersifat sebagai alat pemantau (monitoring) dan tidak dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis terhadap ventilasi atau alat pengatur udara lainnya.

Batasan Produk melalui:

1. Sistem ini hanya berfungsi sebagai alat monitoring dan tidak memiliki kemampuan kontrol otomatis, seperti menyalakan ventilasi, kipas, atau alat penyaring udara.
2. Pemantauan hanya dilakukan untuk lingkungan indoor dan tidak dirancang untuk penggunaan luar ruangan.
3. Akurasi data sensor bergantung pada kondisi lingkungan dan proses kalibrasi awal.

Dengan adanya batasan ini, pengembangan produk akan difokuskan pada penyediaan solusi yang efisien, mudah digunakan, dan memberikan manfaat nyata bagi pengguna dalam memantau kualitas udara di lingkungan mereka

1.1.5. Manfaat Produk

Pengembangan *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* ini diharapkan dapat memberikan sejumlah manfaat yang nyata bagi pengguna dalam berbagai aspek, baik teknis,

ekonomis, maupun lingkungan. Manfaat tersebut meliputi :

1. Teknis

Sistem ini memungkinkan pemantauan kualitas udara secara otomatis dan real-time tanpa perlu dilakukan secara manual. Data dari sensor disajikan secara langsung melalui aplikasi, sehingga pengguna dapat dengan cepat mengetahui kondisi udara dan mengambil langkah pencegahan bila diperlukan.

2. Ekonomis

Dengan sistem yang dapat bekerja secara mandiri dan terus-menerus, kebutuhan akan inspeksi rutin atau pengawasan manual dapat dikurangi. Hal ini dapat menghemat waktu dan biaya operasional, terutama dalam pemantauan ruangan-ruangan yang digunakan secara intensif.

3. Lingkungan

Sistem ini membantu meningkatkan kesadaran akan pentingnya udara bersih di dalam ruangan. Dengan mengetahui kondisi udara secara berkala, pengguna dapat mengambil tindakan seperti membuka ventilasi atau memperbaiki sirkulasi udara secara lebih bijak, sehingga mendukung terciptanya lingkungan yang lebih sehat.

4. Pengguna

Mahasiswa, dosen, dan staf yang menggunakan ruang belajar dan laboratorium akan merasa lebih nyaman dan aman saat beraktivitas. Informasi yang disediakan oleh sistem ini dapat meningkatkan kualitas pengalaman belajar dan bekerja, karena pengguna lebih sadar akan kondisi udara yang mereka hirup.

1.1.6. Definisi dan Singkatan

Bagian ini berisi daftar istilah teknis dan singkatan yang digunakan dalam dokumen ini untuk memastikan pemahaman yang konsisten bagi seluruh pembaca.

Table 1 Definisi dan Singkatan

No	Definisi/Singkatan	Keterangan
1	IoT	Internet of Things, istilah untuk sistem yang menghubungkan perangkat fisik ke internet agar bisa saling bertukar data.
2	ESP32	Mikrokontroler yang dilengkapi dengan koneksi WiFi dan Bluetooth. Digunakan untuk menghubungkan sensor dengan internet.

3	Blynk	Aplikasi yang digunakan untuk memantau dan mengontrol perangkat IoT dari smartphone secara real-time.
4	GY-SGP30	Sensor yang bisa mendeteksi kualitas udara, terutama kadar CO ₂ ekivalen dan gas-gas VOC di sekitar.
5	PM2.5	Partikel Debu halus berukuran kurang dari 2,5 mikrometer, yang bisa berbahaya jika terhirup
6	DHT22	Sensor untuk mengukur suhu dan kelembaban udara secara digital.
7	Wi-Fi	Teknologi komunikasi nirkabel yang memungkinkan koneksi internet bagi perangkat IoT.
8	GP2Y1010AUoF	Sensor optik yang digunakan untuk mendeteksi konsentrasi debu di udara. Termasuk partikel halus seperti asap atau debu PM2.5. Sensor ini bekerja dengan pantulan cahaya dari partikel yang terdeteksi.
9	Real-time Monitoring	Sistem pemantauan yang menyediakan data langsung saat kejadian berlangsung.

1.1.7. Referensi

Bagian ini mencantumkan sumber-sumber yang digunakan sebagai dasar dan acuan dalam merancang serta mengembangkan *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT*. Referensi ini membantu dalam memahami teknologi yang digunakan, karakteristik sensor, serta pendekatan yang paling sesuai untuk diterapkan di lingkungan kampus. Berikut daftar referensi yang digunakan dalam penyusunan dokumen ini:

Prasetyo, B. (2020). *Implementasi Internet of Things untuk Pemantauan Kualitas Udara dalam Ruangan*. Seminar Nasional Sistem Informasi, 6(1), 99–105.

Website Blynk IoT Platform – <https://blynk.io>

Nugroho, H. (2022). *Pemanfaatan Mikrokontroler ESP32 dalam Sistem Monitoring Real-time Berbasis IoT*. Jurnal Rekayasa Teknologi, 11(1), 23–30.

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide* (ISBN 978-92-4-003422-8). World Health Organization.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

RESET. (2018). *RESET™ Air Standard for Commercial Interiors v2.0*. RESET Standard.

<https://reset.build/standards/air/>

Umweltbundesamt. (2007). *Guide values for indoor air quality*. German Environment Agency (UBA). <https://www.umweltbundesamt.de/en/publications/guide-values-for-indoor-air-quality>

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE. <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>

United States Environmental Protection Agency. (2023). *Technical assistance document for the reporting of daily air quality – the air quality index (AQI)*. U.S. EPA.
<https://www.epa.gov/air-quality-index>

Health Canada. (2010). *Exposure guidelines for residential indoor air quality*. Government of Canada. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/exposure-guidelines-residential-indoor-air-quality.html>

1.2. DESKRIPSI UMUM PRODUK

Kualitas udara merupakan salah satu aspek penting dalam mendukung kesehatan manusia, khususnya di lingkungan dalam ruangan seperti rumah, kantor, dan ruang kelas. Udara yang tercemar atau tidak sesuai dengan standar kenyamanan dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti iritasi saluran pernapasan, sakit kepala, kelelahan, dan bahkan penyakit jangka panjang.

Oleh karena itu, sistem monitoring kualitas udara harus dapat mengukur parameter-parameter utama yang menentukan kondisi udara, seperti suhu, kelembapan, konsentrasi gas (eCO₂ dan TVOC), serta partikel debu halus (PM2.5). Untuk mengetahui apakah udara dalam kondisi baik atau buruk, digunakan acuan ambang batas dari berbagai standar internasional. Parameter-parameter ini digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem, serta sebagai tolok ukur dalam interpretasi hasil pembacaan sensor.

Tabel berikut menunjukkan batas ambang masing-masing parameter kualitas udara:

Table 2 Batas ambang parameter kualitas udara

Parameter	Kategori Baik	Kategori Buruk	Sumber Referensi
Suhu	18°C – 26°C	<18°C atau >26°C	ASHRAE Standard 55, WHO
Kelembapan	40% – 60% RH	<30% RH atau >60% RH	EPA, WHO, ASHRAE
eCO ₂	<800 ppm	>1.200 ppm (buruk), >2.000 ppm (sangat buruk)	EPA, Health Canada, ASHRAE
TVOC	<200–500 µg/m ³	>1.000 µg/m ³ atau >3 mg/m ³	RESET Standard, Umweltbundesamt (UBA) Jerman
PM2.5	≤20 µg/m ³	>50 µg/m ³ → tidak sehat, >100 → sangat buruk	WHO Global Air Quality Guidelines (2021), US-EPA AQI (Air Quality Index)

Penggunaan sensor seperti DHT22 (untuk suhu dan kelembapan), SGP30 (untuk eCO₂ dan TVOC), dan GP2Y10 (untuk debu PM2.5) menjadi sangat penting dalam sistem ini karena masing-masing mampu membaca parameter di atas dengan akurasi yang sesuai kebutuhan. Dengan membandingkan hasil sensor terhadap ambang batas di atas, sistem dapat mengklasifikasikan kondisi udara secara otomatis ke dalam kategori "baik", "sedang", atau "buruk", dan memberikan notifikasi kepada pengguna jika terjadi pencemaran udara.

1.2.1. Permasalahan dan Persoalan

Selama ini, kualitas udara di dalam ruangan seperti ruang belajar atau laboratorium kurang mendapat perhatian secara langsung. Padahal, kondisi udara yang kurang baik di dalam ruangan dapat berdampak negatif pada kesehatan dan kenyamanan orang yang berada di dalamnya. Sayangnya, hingga saat ini belum ada sistem yang mampu memantau kualitas udara secara real-time dan memberikan informasi cepat kepada pengguna saat terjadi perubahan kondisi udara.

Hal ini disebabkan karena belum tersedia alat pemantau kualitas udara yang terintegrasi dan mudah digunakan untuk mengawasi kondisi udara dalam ruangan. Perubahan kadar karbon dioksida (CO_2), partikel debu halus (PM2.5), suhu, dan kelembaban sering kali tidak disadari oleh pengguna. Selain itu, banyak ruangan yang belum dilengkapi dengan ventilasi yang dapat menyesuaikan kondisi udara secara otomatis, sehingga udara di dalam ruangan menjadi kurang segar dan kondisinya sulit untuk dipertahankan dengan baik.

Akibatnya, kondisi udara yang kurang nyaman ini dapat terus berlanjut tanpa adanya tindakan pencegahan yang cepat dan tepat. Situasi tersebut berpotensi menurunkan kenyamanan dan konsentrasi pengguna saat beraktivitas, sehingga sangat penting untuk menghadirkan solusi yang dapat membantu memantau dan mengelola kualitas udara secara efektif.

1.2.2. Produk yang menjadi Inspirasi

Dalam merancang *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT*, beberapa produk serupa yang sudah beredar di pasaran menjadi acuan dan sumber inspirasi dalam merancang sistem ini. Dari produk-produk tersebut, ada fitur-fitur yang bisa diadaptasi, sekaligus ada juga kekurangan yang bisa diperbaiki untuk menghasilkan alat yang lebih sesuai dengan kebutuhan di ruangan seperti laboratorium, ruang belajar, atau ruang kerja. Berikut beberapa contoh produk inspiratif:

1. Xiaomi Smart Air Quality Monitor

Produk ini dijadikan inspiratif dikarenakan cukup menarik, karena mampu mendeteksi partikel debu halus (PM2.5), suhu, kelembaban, serta bisa menampilkan data secara real-time melalui aplikasi di smartphone. Namun, alat ini tidak menyimpan data historis dan tidak memiliki sistem notifikasi otomatis saat kondisi udara menurun, sehingga pengguna aktif memeriksa sendiri datanya.

2. *Atmotube Pro*

Alat portable yang bisa mendekksi berbagai parameter seperti VOC, PM1, PM2.5, PM10, suhu, dan kelembapan. Alat ini cocok untuk dibawa ke mana-mana dan menampilkan data langsung lewat aplikasi. Sayangnya, alat ini tidak dirancang untuk pemantauan tetap dalam ruangan seperti ruang kelas atau laboratorium, dan akses datanya pun cenderung terbatas untuk pengguna tertentu.

3. *Kaiterra Laser Egg+*

Alat ini dijadikan inspiratif dalam pengembangan produk ini dikarenakan cukup akurat dalam membaca kadar PM2.5 dan karbon dioksida (CO_2), serta sudah bisa terhubung ke WiFi. Namun, kekurangan utamanya ada pada harga yang cukup tinggi dan sifatnya yang tertutup, sehingga kurang cocok digunakan untuk kebutuhan pengembangan sistem secara mandiri atau untuk riset mahasiswa

Sistem yang sedang dikembangkan dalam proyek ini mengambil inspirasi dari produk-produk diatas dalam hal kemampuannya membaca parameter penting, seperti PM2.5, suhu, kelembaban dan konsentrasi gas. Pendekatan ini dipilih agar alat tetap sederhana, mudah digunakan, dan bisa menjadi solusi awal untuk mengenalkan pentingnya kualitas udara dalam ruangan, terutama di lingkungan Pendidikan dan laboratorium.

1.2.3. Produk yang akan dibangun

Produk yang dikembangkan adalah *sistem pemantau kualitas udara berbasis IoT* yang dirancang khusus untuk ruangan dalam, seperti ruang belajar, laboratorium, atau ruang kerja. Tujuan utama dari sistem ini adalah membantu pengguna memahami kondisi udara di sekitarnya secara langsung, melalui data yang ditampilkan dari berbagai sensor yang terpasang. Sistem ini bersifat monitoring pasif, tanpa kontrol otomatis atau peringatan. Jadi, pengguna bisa memutuskan sendiri kapan harus bertindak berdasarkan informasi yang tampil. Dengan desain yang sederhana dan mudah digunakan, produk ini cocok sebagai alat bantu di lingkungan yang butuh pengawasan kualitas udara.

Beberapa fitur utama dari *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* antara lain:

1. Memantau kualitas udara secara real-time dengan sensor yang mengukur suhu, kelembapan, kadar karbon dioksida (CO_2), e CO_2 (ekivalen karbon dioksida), partikel debu halus (PM2.5), dan total senyawa organik volatil (TVOC).
2. Menampilkan data secara langsung lewat layar LCD sehingga mudah dipantau tanpa perlu aplikasi tambahan.

3. Pencatatan data secara berkala, sehingga pengguna dapat melihat riwayat kualitas udara dan menganalisis perubahan selama periode tertentu.
4. Antarmuka pengguna yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga siapa saja bisa menggunakan sistem ini tanpa kesulitan.
5. Daya konsumsi rendah, agar alat tetap efisien dan hemat listrik meskipun digunakan terus-menerus.

Sistem ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan produk serupa. Data kualitas udara ditampilkan langsung melalui layar LCD/LED tanpa perlu aplikasi tambahan, sehingga lebih praktis untuk digunakan di berbagai ruang. Pemantauan yang dilakukan juga lebih lengkap karena mencakup suhu, kelembapan, CO₂, eCO₂, PM2.5, dan TVOC. Selain itu, konsumsi daya yang efisien dan desain yang sederhana, alat ini cocok digunakan di lingkungan edukasi maupun riset tanpa memerlukan kontrol atau konfigurasi yang rumit.

1.2.4. Konteks

Sistem ini dirancang untuk digunakan di dalam ruangan seperti ruang kelas, laboratorium, atau ruang kerja. Alat ini dipasang secara permanen dan terhubung ke listrik agar bisa berjalan terus-menerus. Data dari sensor ditampilkan langsung melalui layar, dan juga bisa dipantau dari jarak jauh menggunakan aplikasi Blynk. Data juga bisa disimpan, baik secara lokal maupun di cloud, untuk keperluan analisis lanjutan.

1. Stakeholder Utama

Pengguna Akhir (Mahasiswa, Dosen, Staf Laboratorium) Memantau kualitas udara melalui layar LCD/LED atau lewat aplikasi Blynk di ponsel.

2. Top-Level Modul Sistem

Komponen utama sistem dan fungsinya dijelaskan sebagai berikut:

2.1 Sensor Unit

Modul ini terdiri dari beberapa sensor untuk membaca kondisi udara:

- DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan
- SGP30 untuk mengukur kadar eCO₂ dan TVOC
- GP2Y10 untuk sensor partikel debu (PM2.5), digunakan untuk mendekripsi konsentrasi partikel halus di udara.

2.2 Microcontroller

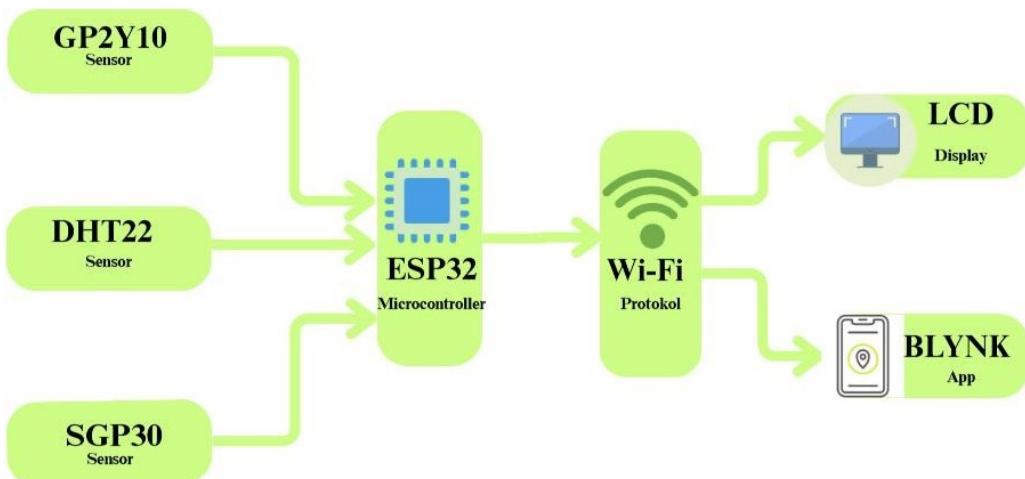
ESP32 Mengambil data dari semua sensor, Menampilkan data ke layar dan Mengirim data ke aplikasi Blynk lewat koneksi Wi-Fi.

2.3 Display Module

Display module menampilkan informasi secara langsung dan real-time menggunakan layar LCD/LED dengan koneksi I2C.

2.4 Aplikasi Blynk

Blynk app menerima data dari ESP32 melalui komunikasi protokol Wi-Fi dan menampilkannya di aplikasi pengguna.



Gambar 2 Diagram Interaksi Antarmodul

Sistem ini dirancang untuk memberikan solusi pemantauan kualitas udara yang praktis, real- time, dan fleksibel. Dengan menggabungkan berbagai sensor dan kemampuan nirkabel dari ESP32, sistem ini cocok diterapkan dalam berbagai lingkungan seperti rumah, kantor, atau laboratorium untuk menjaga kualitas udara dan kenyamanan pengguna.

1.2.5. Deskripsi Kebutuhan Produk

Pada *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT*, kebutuhan sistem dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu kebutuhan fungsional dan non-fungsional. Pembagian ini membantu dalam merancang sistem yang tidak hanya berfungsi dengan baik, tetapi juga nyaman digunakan dan dapat diandalkan dalam berbagai situasi.

Kebutuhan Fungsional:

1. Sistem mampu memantau berbagai parameter kualitas udara secara real-time, seperti partikel debu halus (PM2.5), kadar karbon dioksida (CO₂), senyawa organik

volatil (VOC), suhu, dan kelembaban.

2. Microcontroller akan mengolah dan mengirimkan data dari sensor ke server cloud melalui koneksi Wi-Fi.
3. Data kualitas udara bisa langsung dipantau oleh pengguna melalui aplikasi Blynk di ponsel, baik data saat ini maupun riwayat pengukuran sebelumnya.

Kebutuhan Non-Fungsional:

1. Sistem mampu merespon dan menampilkan data dalam waktu kurang dari 15 detik sejak data diterima dari sensor.
2. Sistem dapat bekerja selama 24 jam tanpa gangguan, asalkan sumber daya listrik tetap tersedia.
3. Sistem tetap hemat daya dan bisa berjalan pada sumber listrik dari adaptor maupun power bank jika diperlukan.

1.2.6. Environment Hardware dan Software

Lingkungan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan, pengujian, serta implementasi sistem ini terdiri dari berbagai komponen yang saling terintegrasi. Setiap komponen memiliki peran penting untuk memastikan sistem berjalan dengan baik, mulai dari pembacaan data oleh sensor hingga penyajian data kepada pengguna melalui aplikasi.

Tabel berikut menjelaskan secara rinci komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan:

Table 3 Environment Hardware

No	Hardware	Spesifikasi atau Keterangan
1	ESP32 Microcontroller	Bertugas sebagai pusat kontrol sistem. Menerima data dari sensor, mengolah, dan mengirimkannya ke cloud melalui koneksi Wi-Fi.
2	Sensor GP2Y1010AU0F	Sensor optic yang digunakan untuk medeteksi konsentrasi partikel debu halus diudara (PM2.5)
3	Sensor DHT22	Mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar perangkat.
4	Sensor SGP30	Mengukur tingkat gas CO ₂ dan VOC (senyawa organik volatil) di lingkungan sekitar.
5	LCD/LED Display (I2C)	Menampilkan data secara langsung pada perangkat untuk pemantauan lokal.

6	Power Supply	Sumber daya listrik untuk perangkat, mendukung penggunaan fleksibel di lokasi tanpa listrik permanen.
---	--------------	---

Table 4 Environment Software

No	Software	Spesifikasi atau Keterangan
1	Arduino IDE	Mengembangkan dan mengunggah kode ke ESP32.
2	Blynk IoT platform	Platform cloud yang memfasilitasi pengiriman data dari ESP32 ke aplikasi Blynk secara aman dan real-time.
3	SolidWorks	Digunakan untuk merancang desain fisik prototipe sebelum pembuatan.

Kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak ini memastikan sistem dapat beroperasi secara efisien, real-time, dan dapat diakses melalui aplikasi web maupun mobile.

1.2.7. Metodologi dan Tools Pengembangan

Bagian ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam pengembangan *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT* serta tools yang mendukung proses pengembangannya.

1.2.7.1. Metodologi

Pada tahap pengembangan sistem monitoring kualitas udara ini, penulis menggunakan metodologi iteratif. Metodologi ini dipilih karena sifatnya yang fleksibel dan memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara bertahap. Dengan pendekatan ini, setiap komponen sistem dapat diuji lebih awal dan diperbaiki jika ditemukan kekurangan, sehingga hasil akhir lebih matang dan sesuai dengan kebutuhan.

Secara umum, proses pengembangan dilakukan melalui beberapa siklus, dengan tahapan sebagai berikut:

1. Perencanaan dan Perancangan Awal

Di tahap awal, penulis menentukan komponen yang akan digunakan, seperti ESP32 sebagai mikrokontroler utama, serta sensor DHT22, GP2Y10, dan SGP30 untuk membaca kondisi suhu, kelembapan, partikel debu, dan kualitas udara (VOC dan eCO2). Selain itu, dibuat juga rancangan alur kerja sistem dan desain dasar rangkaian elektronik.

2. Pembuatan Prototipe

Setelah perancangan selesai, penulis mulai menyusun perangkat keras dan menuliskan program dasar untuk membaca data dari sensor dan mengirimkannya ke

platform pemantauan. Pada tahap ini, sistem diuji dalam bentuk sederhana terlebih dahulu untuk memastikan fungsionalitas utama dapat berjalan dengan baik.

3. Pengujian dan Evaluasi

Prototipe diuji untuk melihat apakah data yang ditampilkan sudah sesuai dengan kondisi sebenarnya. Penulis juga mengevaluasi performa sensor, stabilitas jaringan, dan tampilan data pada dashboard. Jika ditemukan kendala, catatan diperoleh sebagai dasar untuk perbaikan.

4. Penyempurnaan dan Iterasi Ulang

Berdasarkan hasil evaluasi, dilakukan perbaikan pada bagian yang belum optimal, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak. Setelah itu, sistem diuji kembali. Proses ini diulang beberapa kali hingga sistem dapat berjalan stabil dan sesuai dengan harapan.

1.2.7.2. Tools Pengembangan

Dalam pengembangan *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT*, berbagai tools dan perangkat lunak digunakan untuk mendukung proses desain, implementasi, pengujian, dan pengelolaan proyek. Berikut adalah tools yang digunakan dalam berbagai aspek pengembangan:

Table 5 Tools yang Pengembangan

No	Nama Tools	Fungsi
1	Fritzing	Mendesain skematik dan tata letak rangkaian elektronik.
2	Arduino IDE	Menulis dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32.
3	Blynk	Menyediakan dashboard visual untuk menampilkan data sensor secara real-time
4	SolidWorks	Mendesain casing perangkat berbasis 3D modeling.
5	Draw.io	Membuat diagram alur dan arsitektur sistem.
6	Canva	Membuat infografis, diagram visual, dan dokumentasi presentasi.
7	Google Workspace	Menyusun dokumen, spreadsheet, dan menyimpan file secara kolaboratif.

Semua tools ini digunakan selama pengembangan untuk memastikan sistem dapat berjalan dengan optimal sebelum diimplementasikan secara nyata.

BAB II

PROJECT PLANNING (PP)

(PERENCANAAN PENGEMBANGAN PRODUK)

2.1. PENDAHULUAN

Perencanaan proyek ini disusun sebagai dasar dan panduan dalam mengembangkan *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT*, yang sebelumnya telah dijelaskan dalam dokumen Product Requirement Specification. Dokumen ini memuat langkah-langkah penting yang dirancang untuk mendukung seluruh proses pengembangan sistem, mulai dari penjadwalan pekerjaan, pengelolaan sumber daya, hingga pembagian tugas apabila proyek melibatkan beberapa anggota tim.

Proyek ini penting mengingat kualitas udara berperan besar dalam menjaga kesehatan dan kenyamanan, terutama di ruang-ruang tertutup seperti rumah, sekolah, maupun kantor. Dengan memanfaatkan teknologi sensor dan IoT, sistem ini dapat memantau kondisi udara secara langsung dan cepat, sehingga pengguna dapat segera mengambil langkah yang tepat apabila terjadi penurunan kualitas udara.

Salah satu keunggulan dari sistem ini adalah kemampuannya untuk menampilkan data secara real-time melalui aplikasi yang mudah diakses lewat smartphone, seperti menggunakan platform Blynk. Dengan begitu, pengguna tidak perlu selalu berada di lokasi untuk memantau kondisi udara, sehingga pengawasan menjadi lebih fleksibel dan praktis.

Secara keseluruhan, dokumen perencanaan ini dibuat agar proses pengembangan berjalan dengan terstruktur dan sesuai jadwal, sekaligus tetap mengutamakan kebutuhan pengguna. Dengan perencanaan yang matang, diharapkan produk yang dihasilkan dapat bekerja optimal dan memberikan manfaat nyata bagi penggunanya.

2.2. DESKRIPSI PROYEK

Proyek ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah *sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT* yang dapat membantu pengguna dalam memantau kondisi udara di lingkungan sekitarnya, khususnya di dalam ruangan seperti kelas, laboratorium, ruang kerja, atau rumah. Sistem ini akan menggunakan sensor-sensor seperti DHT22, GP2Y10, dan SGP30 yang terhubung ke mikrokontroler ESP32, untuk membaca parameter-parameter penting seperti suhu, kelembaban, partikel debu (PM2.5), karbon dioksida (eCO₂), dan senyawa organik volatil (TVOC).

Semua data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan secara otomatis melalui koneksi WiFi dan dapat ditampilkan secara langsung melalui aplikasi Blynk di smartphone, sehingga

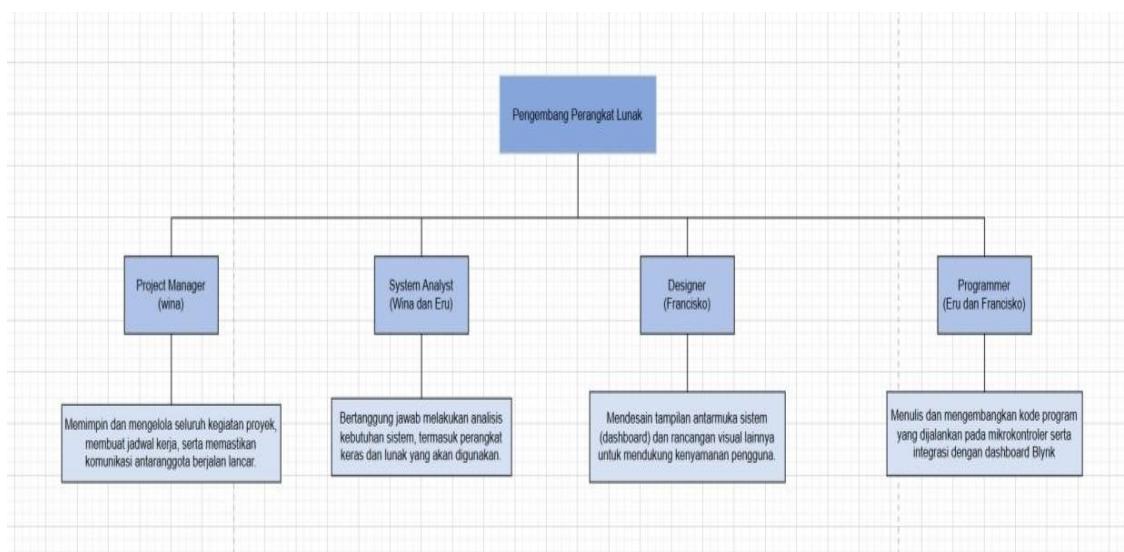
pengguna bisa memantau kualitas udara kapan saja dan dari mana saja. Selain itu, data juga akan ditampilkan pada LCD/LED display yang terpasang di perangkat, agar informasi bisa langsung terlihat di tempat.

Sasaran dari proyek ini adalah pengguna umum yang berada di lingkungan indoor, baik itu mahasiswa, staf pengajar, karyawan, maupun masyarakat umum yang peduli terhadap kualitas udara. Sistem ini dirancang agar mudah digunakan, hemat energi, dan bisa berjalan stabil dalam jangka waktu panjang.

Untuk mengelola proyek ini, digunakan pendekatan berbasis tahapan, mulai dari perencanaan, perakitan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler, integrasi aplikasi, hingga pengujian sistem. Setiap tahapan dilakukan secara bertahap dan terukur agar hasil akhir sesuai dengan kebutuhan dan bisa diandalkan dalam penggunaan sehari-hari. Secara keseluruhan, proyek ini tidak hanya mengedepankan fungsi teknis, tetapi juga kenyamanan dan kemudahan bagi pengguna dalam mengakses informasi penting terkait kualitas udara di lingkungannya.

2.2.1. Project Organization

Bagian ini menjelaskan struktur organisasi tim proyek yang bertanggung jawab dalam pengembangan *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT*. Struktur organisasi ini mencakup pembagian peran dan tanggung jawab setiap anggota tim, penunjukan pemimpin proyek, pengembang, penguji, serta peran pendukung lainnya. Selain itu, dijelaskan pula proses komunikasi dan mekanisme pelaporan antar anggota tim.

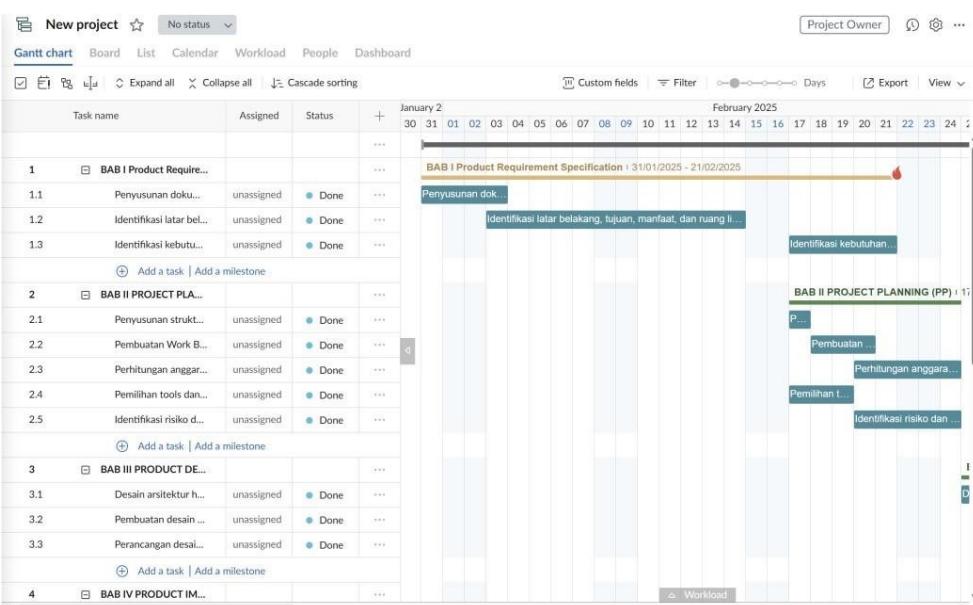


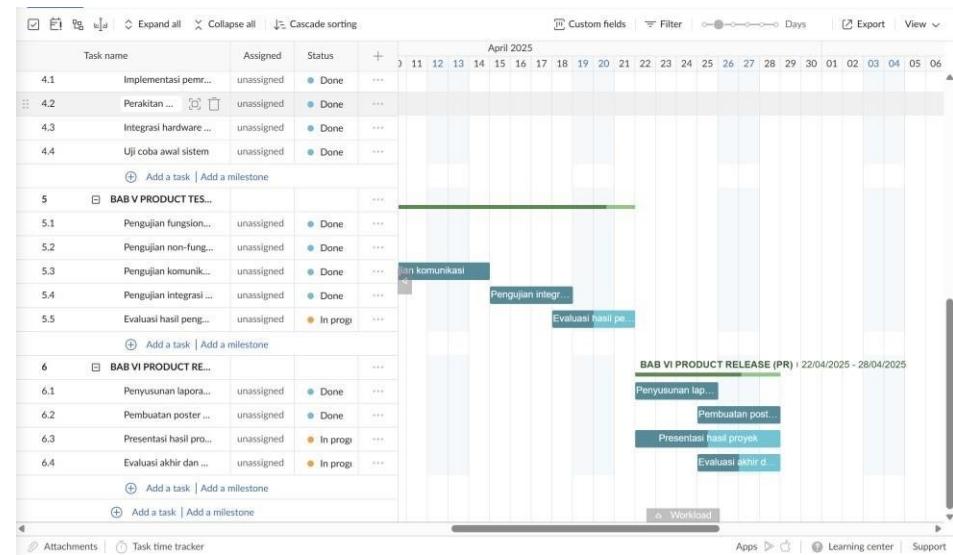
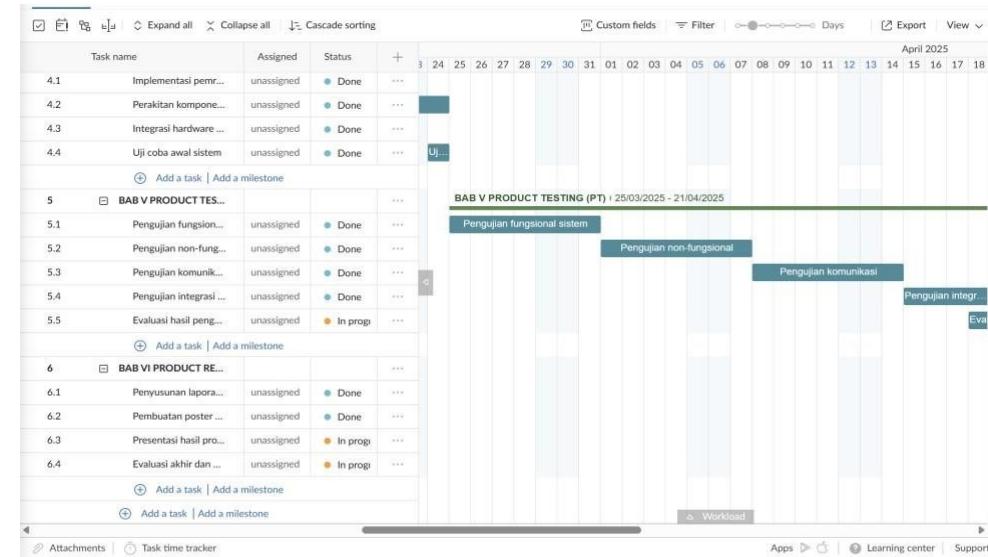
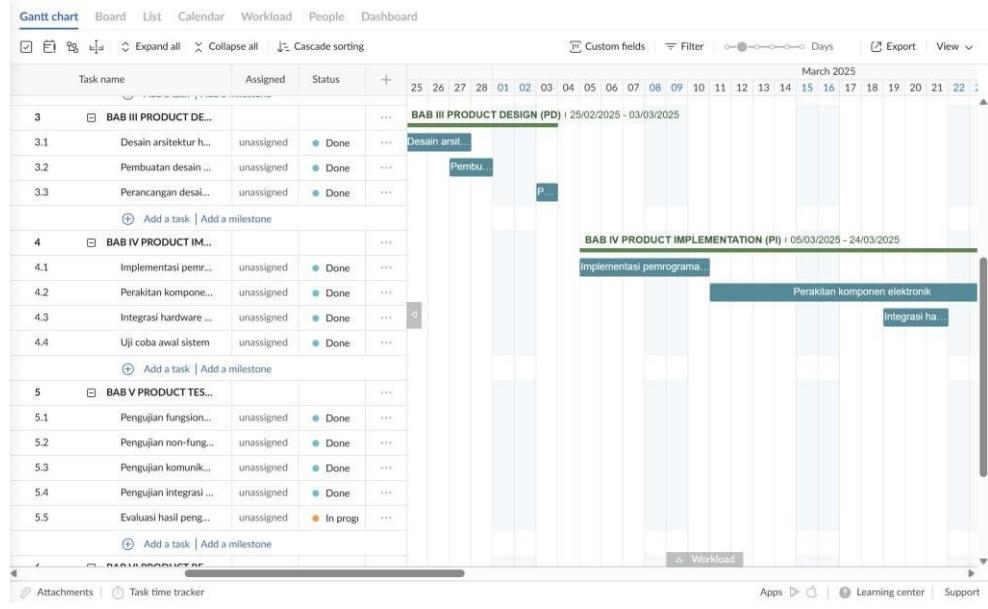
Gambar 3 Project organization

Struktur organisasi pada proyek *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT* disusun agar setiap anggota memiliki peran yang jelas dan saling mendukung. Wina bertindak sebagai Project Manager yang mengatur jadwal, mengoordinasikan tim, dan memastikan komunikasi berjalan lancar. Peran System Analyst diisi oleh Wina dan Eru, yang bertugas menganalisis kebutuhan sistem serta menjembatani antara kebutuhan pengguna dan proses teknis. Francisko berperan sebagai Designer yang merancang tampilan antarmuka dan elemen visual untuk mendukung kenyamanan pengguna. Sementara itu, Eru dan Francisko juga bertanggung jawab sebagai Programmer, mengembangkan kode program dan mengintegrasikan data sensor ke dashboard Blynk secara real-time. Dengan pembagian peran yang terstruktur ini, pengembangan sistem diharapkan berjalan efektif dan mencapai hasil yang optimal.

2.2.2. Work Breakdown Structure (WBS)

Dalam sebuah proyek, perencanaan yang sistematis diperlukan untuk memastikan setiap tugas dapat diselesaikan secara efektif dan efisien. Salah satu metode yang digunakan adalah Work Breakdown Structure (WBS), yang berfungsi untuk membagi pekerjaan proyek menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan terstruktur. Dengan WBS, setiap komponen proyek dapat diidentifikasi, dijadwalkan, dan dialokasikan sumber dayanya secara optimal, sehingga mempermudah pengelolaan proyek secara keseluruhan. Bagian ini akan membahas konsep WBS, struktur pembagian tugas, serta visualisasi dalam bentuk diagram atau tabel hierarki.





Gambar 4 Work Breakdown Structure

2.2.3. Budget

Bagian ini menjelaskan alokasi anggaran untuk seluruh tahapan dalam proyek *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT*. Rincian biaya disusun berdasarkan fase kegiatan, kebutuhan sumber daya manusia, perangkat keras dan lunak, serta komponen operasional lainnya. Alokasi dana cadangan juga disiapkan untuk mengantisipasi risiko tak terduga yang mungkin muncul selama proses pengembangan dan implementasi.

Rincian anggaran per fase proyek:

Table 6 Budget yang diperlukan

Biaya pengembangan Proyek Akhir	Jumlah	Satuan	Total
A. Perangkat Keras			
1. Sensor debu (GP2Y10))	1	Rp57.000	Rp57.000
2. Sensor Suhu (DHT22)	1	Rp41.000	Rp41.000
3. Power Supply (MB102)	1	Rp20.000	Rp20.000
4. Sensor VOC dan Co2 (SGP30)	1	Rp145.000	Rp145.000
5. Adaptor DC 12v 1A	1	Rp18.000	Rp18.000
6. Mikrokontroler (ESP32)	1	Rp86.880	Rp86.880
7. PCB	1	Rp11.900	Rp11.900
8. LCD/LED Display (I2C)	1	Rp20.000	Rp20.000
9. Pin Header 2.54mm	3	Rp500	Rp1500
10. Kabel Silicon	15 m	Rp5000	Rp75.000
11. Casing PCB	1	Rp102.000	Rp102.000
12. Casing Prototipe	1	Rp330.000	Rp330.000
Total			Rp908.200
B. Biaya untuk pengembangan perangkat lunak			
1. Pengembangan Aplikasi Blynk	0	Rp0-	Rp0-
Total			Rp0-
C. Biaya tak terduga			
1. Biaya Cadangan	1	Rp250.000	Rp250.000
Total			Rp250.000
Total biaya proyek			Rp1.158.200

2.2.4. Tools

Bagian ini membahas berbagai alat dan teknologi yang digunakan dalam pengembangan *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT*. Pemilihan tools didasarkan pada kebutuhan proyek untuk memastikan efisiensi, keandalan, serta kemudahan dalam pengelolaan dan pengembangan sistem. Tools yang digunakan mencakup perangkat keras, perangkat lunak, manajemen proyek, kolaborasi tim, serta simulasi dan pengujian. Tabel berikut merangkum alat

yang digunakan beserta fungsinya dalam proyek ini.

Table 7 Tools

No	Kategori	Alat/Perangkat	Fungsi	Alasan pemilihan tools
1	Perangkat Keras	Sensor debu (GP2Y10), Sensor suhu dan kelembapan (DHT22), Sensor VOC dan CO2 (SGP30), Power Supply module (MB102), Mikrokontroler (ESP32)	Mengukur parameter kualitas udara seperti debu, suhu, kelembapan, VOC, dan CO2, serta mengirim data ke sistem	Sensor dipilih karena akurasinya baik dan kompatibel dengan ESP32 yang mendukung konektivitas IoT secara stabil dan efisien.
2	Perangkat Lunak	Arduino IDE, Bylink	Pengembangan firmware untuk mikrokontroler dan pemantauan data kualitas udara secara real-time melalui aplikasi mobile	Mudah digunakan, mendukung integrasi IoT, serta memungkinkan monitoring data secara langsung dan interaktif.
3	Manajemen Proyek	GANTTPRO	Mengelola jadwal dan tugas.	Mudah digunakan dan mendukung kolaborasi tim secara real-time.
4	Kolaborasi Tim	Google Workspace	Berkomunikasi, berbagi dokumen, dan kolaborasi dalam tim	Fitur lengkap untuk koordinasi tim seperti sharing file dan chat yang memudahkan komunikasi cepat.
5	Simulasi dan pengujian	Proteus	Simulasi rangkaian elektronik.	Mendukung analisis mendalam dan pengujian sistem.

2.2.5. Resiko dan Hambatan

Pada bagian ini, diidentifikasi potensi risiko dan hambatan yang mungkin muncul selama pelaksanaan proyek. Pemahaman terhadap risiko ini penting agar tim dapat mempersiapkan strategi mitigasi dan antisipasi yang tepat agar proyek berjalan lancar dan tujuan tercapai. Risiko Utama dan Strategi Mitigasi:

1. Keterlambatan Jadwal

Risiko ini dapat terjadi akibat kendala teknis, ketersediaan komponen, atau gangguan komunikasi tim.

Dampak: penundaan penyelesaian proyek.

Strategi Mitigasi: Membuat jadwal realistik dengan waktu cadangan, sering mengecek progress dan jaga komunikasi agar tetap lancar.

2. Anggaran Melebihi Perkiraan

Terjadi jika terdapat kebutuhan tambahan komponen atau kerusakan alat selama proses pengembangan.

Dampak: Membebani anggaran yang telah direncanakan.

Strategi Mitigasi: Menyediakan dana cadangan, memilih komponen sesuai kebutuhan dengan harga dan kualitas yang seimbang, serta mengawasi pengeluaran secara ketat.

3. Kendala Teknis Perangkat

Contohnya sensor gagal berfungsi, kesalahan pemrograman, atau masalah integrasi perangkat keras dan lunak.

Dampak: Sistem tidak berjalan sesuai harapan.

Strategi Mitigasi: Melakukan pengujian berkala, menggunakan komponen yang telah teruji, serta menyimpan dokumentasi dan backup kode secara rutin.

Hambatan Eksternal :

1. Gangguan Rantai Pasokan

Keterlambatan pengiriman komponen elektronik dapat menghambat proses pengembangan.

Antisipasi: Mengantisipasi dengan pemesanan lebih awal atau mencari pemasok alternatif.

Dengan mitigasi yang tepat, proyek ini dapat berjalan lebih efektif dan mencapai hasil yang optimal.

BAB III

PRODUCT DESIGN (PD)

(DESAIN PENGEMBANGAN PRODUK)

3.1. PENDAHULUAN

Perancangan produk merupakan salah satu tahap penting dalam pengembangan sebuah sistem. Tahap ini bertujuan memastikan bahwa produk yang dibuat nanti benar-benar dapat memenuhi kebutuhan pengguna sekaligus mendukung tujuan bisnis yang sudah ditetapkan sebelumnya. Pada bagian ini, akan dibahas secara umum tentang desain produk untuk *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT* yang sedang dikembangkan. Sistem ini dibuat untuk memberikan solusi yang dapat memantau kualitas udara secara real-time.

Sistem monitoring ini dirancang dengan menggabungkan beberapa komponen utama, yaitu sensor-sensor lingkungan yang mampu mengukur berbagai parameter seperti suhu, kelembaban, dan tingkat polutan udara. Selain itu, sistem ini juga menggunakan perangkat IoT yang berfungsi sebagai penghubung antara sensor dan platform visualisasi data. Dengan adanya platform ini, data yang dikumpulkan dari sensor dapat disajikan secara mudah dipahami dan dapat diakses kapan saja oleh pengguna. Hal ini tentu sangat membantu pengguna untuk selalu mengetahui kondisi udara di sekitarnya dan membuat keputusan yang lebih tepat, terutama dalam menjaga kenyamanan dan kesehatan.

Dalam mengembangkan sistem ini, kami mengikuti pedoman yang tertuang dalam dokumen spesifikasi produk (Product Requirement Specification) serta perencanaan proyek (Project Planning). Dokumen-dokumen tersebut menjadi acuan utama agar desain yang dibuat benar-benar sesuai dengan kebutuhan teknis dan operasional yang diperlukan. Pendekatan desain yang digunakan juga memperhatikan berbagai aspek penting, seperti fungsi utama sistem yang harus berjalan dengan baik, efisiensi energi agar perangkat dapat bekerja secara hemat daya, serta kemampuan sistem untuk berkembang atau skalabilitas jika sewaktu-waktu ingin ditambah fitur atau perangkat baru.

Selain itu, kemudahan penggunaan juga menjadi salah satu fokus utama dalam perancangan ini, supaya sistem dapat digunakan oleh berbagai kalangan, termasuk mereka yang tidak memiliki latar belakang teknis khusus. Dengan pendekatan seperti ini, diharapkan produk yang dihasilkan nantinya tidak hanya handal dan efektif dalam memantau kualitas udara, tapi juga nyaman dan mudah digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

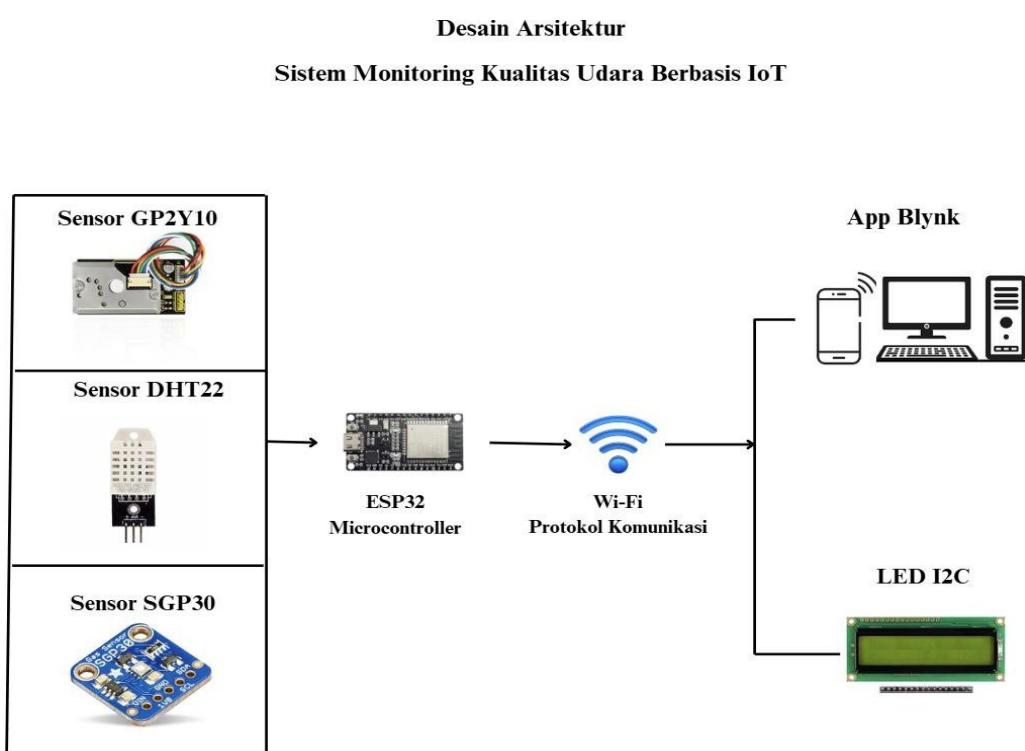
Secara keseluruhan, perancangan produk ini bertujuan untuk menciptakan sebuah *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* yang mampu memberikan manfaat nyata bagi pengguna.

Sistem ini diharapkan dapat membantu dalam menjaga kualitas udara yang sehat dan lingkungan yang lebih nyaman, baik di rumah, tempat kerja, maupun di ruang publik.

3.2. DESKRIPSI PRODUK DESIGN

3.2.1. Arsitektur Sistem

Bagian ini menjelaskan bagaimana seluruh komponen hardware dalam sistem saling terhubung dan berinteraksi dengan perangkat lunak yang dikembangkan. Sistem ini dirancang agar setiap sensor dapat memberikan data secara real-time kepada mikrokontroler, yang selanjutnya memproses dan mengirimkan data tersebut ke server, sekaligus menampilkannya ke pengguna melalui layar.



Gambar 5 Arsitektur Sistem Hardware

Arsitektur sistem yang dirancang untuk monitoring kualitas udara berbasis IoT terdiri dari tiga komponen utama, yaitu perangkat sensor (IoT Device), mikrokontroler ESP32, dan media tampilan data. Sistem ini bertujuan untuk mengukur parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, kadar debu (PM2.5), dan konsentrasi gas berbahaya di udara secara real-time.

Terdapat tiga sensor yang masing-masing memiliki fungsi berbeda. Sensor GP2Y10 mengukur konsentrasi partikel debu menggunakan sensor PM2.5. Sensor DHT22 bertugas

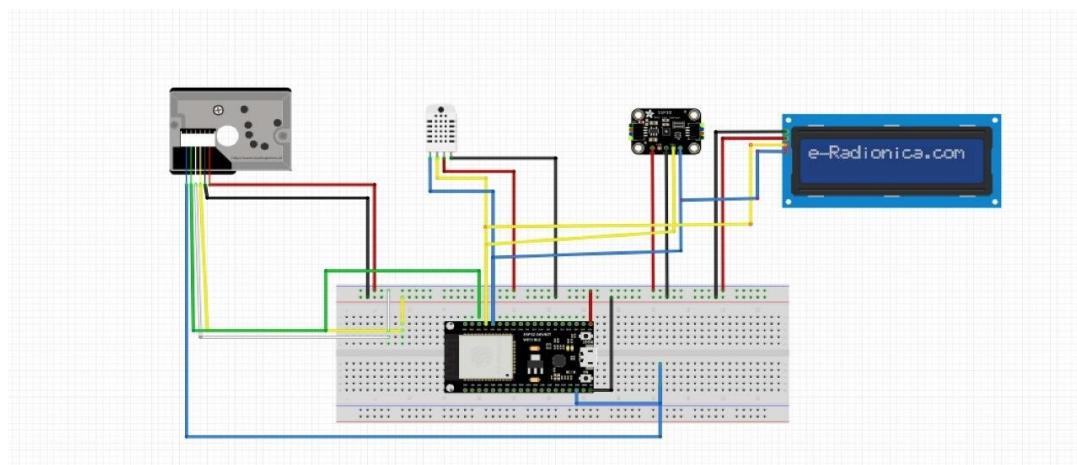
untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Sementara itu, sensor SGP30 digunakan untuk mendeteksi kandungan gas di udara, seperti karbon monoksida (CO) atau gas beracun lainnya.

Ketiga perangkat sensor ini terhubung ke mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai pusat pengendali sistem. ESP32 membaca data dari ketiga sensor, memprosesnya, lalu mengirimkannya menggunakan komunikasi protocol Wi-Fi ke dua media tampilan data, yaitu aplikasi Blynk yang dapat diakses di handphone maupun dapat diakses menggunakan komputer dan LCD I2C. Blynk digunakan sebagai antarmuka berbasis aplikasi mobile yang memungkinkan pengguna memantau data sensor melalui internet. Di sisi lain, LCD I2C berfungsi sebagai tampilan lokal untuk menampilkan informasi secara langsung pada perangkat keras.

Dengan arsitektur ini, sistem mampu memantau kualitas udara secara efisien dan real-time, baik secara lokal maupun jarak jauh melalui koneksi internet.

3.2.2. Desain Rangkaian Elektronik/Skematik Desain

Desain skematik menjelaskan rancangan rangkaian elektronik yang digunakan dalam *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT*. Rangkaian ini mencakup berbagai komponen, mulai dari sensor lingkungan, mikrokontroler, tampilan informasi, hingga sumber daya listrik. Semua komponen dirancang agar dapat bekerja secara terintegrasi dan stabil.



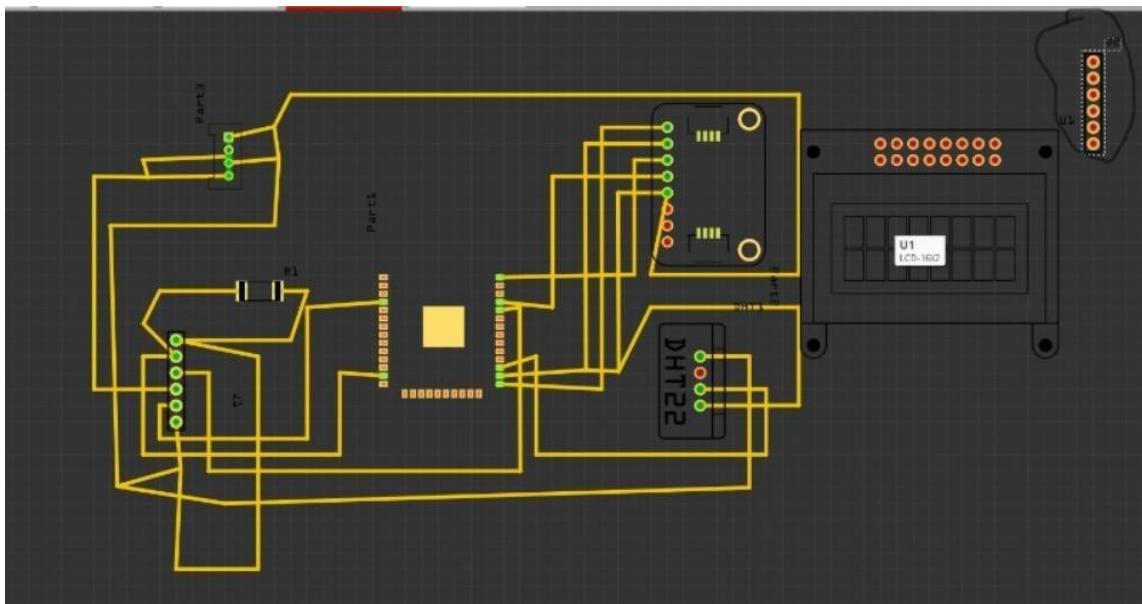
Gambar 6 Desain Skematik

Gambar tersebut merupakan desain skematik berbasis breadboard dari *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT*, bukan layout PCB. Skematik ini menggambarkan bagaimana komponen-komponen seperti ESP32, sensor suhu dan kelembaban (DHT22), sensor debu PM2.5, sensor gas, LCD I2C, serta modul power supply MB102 disusun dan dihubungkan pada

papan breadboard untuk pengujian atau perakitan awal. Seluruh sistem memperoleh daya dari adaptor 10V 1A yang disalurkan melalui power supply MB102. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan di LCD dan dikirim ke aplikasi Blynk secara nirkabel. Desain ini digunakan sebagai tahap awal dalam pengembangan sebelum dipindahkan ke layout PCB untuk implementasi yang lebih permanen dan rapi.

3.2.3. Disain Rangkain PCB

Pada tahap ini, skematik desain yang telah dibuat diterapkan ke dalam layout PCB untuk mempermudah proses perakitan dan meningkatkan kinerja sistem. Bab ini akan membahas perancangan PCB, termasuk tata letak, jalur koneksi, serta teknik yang digunakan untuk memastikan keandalan rangkaian elektronik.



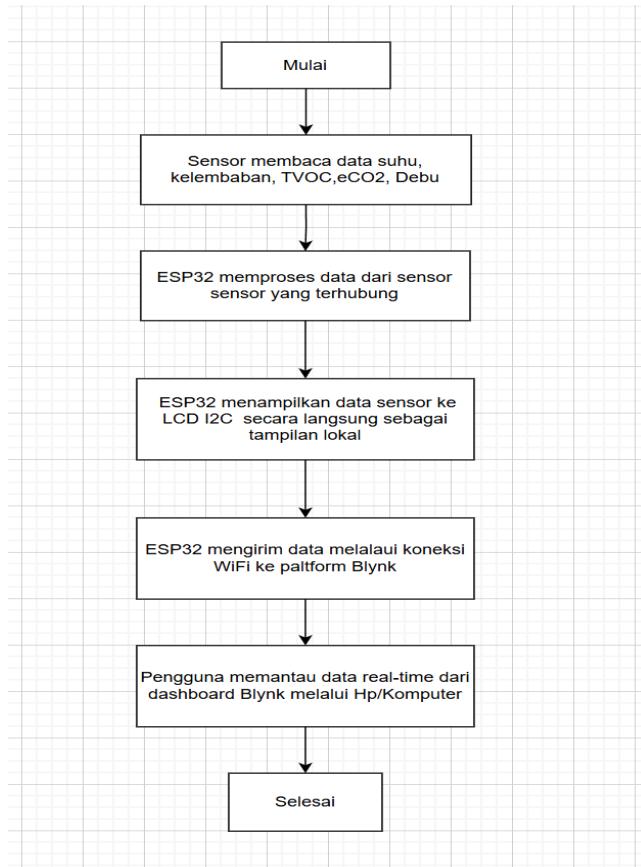
Gambar 7 Desain PCB

Desain PCB pada gambar ini dibuat menggunakan perangkat lunak Fritzing dan dirancang untuk sistem berbasis ESP32. Modul ESP32 terletak di bagian tengah sebagai pusat pemrosesan data, yang terhubung ke berbagai komponen lain. Di bagian kanan bawah terdapat sensor DHT22 yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Sensor ini dihubungkan ke ESP32 melalui tiga jalur utama: VCC, GND, dan Data. Tepat di samping sensor, terdapat modul LCD 16x2 yang digunakan untuk menampilkan data sensor secara real-time. Modul ini menggunakan komunikasi I2C dengan dua pin utama, yaitu SDA dan SCL, yang terhubung langsung ke ESP32.

Sementara itu, pada sisi kiri PCB, terdapat konektor dan beberapa komponen pendukung seperti resistor dan header pin, yang disiapkan untuk koneksi daya atau modul tambahan. Jalur koneksi pada desain ini ditandai dengan garis kuning, menunjukkan bahwa papan ini menggunakan pendekatan single-layer untuk memudahkan proses pencetakan dan penyolderan.

3.2.4. Mekanisme Komunikasi Data

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai alur komunikasi data *pada sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* ini, berikut disajikan diagram alir (flowchart) yang menunjukkan proses kerja sistem dari awal hingga data dapat dimonitor oleh pengguna. Diagram ini menggambarkan bagaimana sensor-sensor membaca parameter lingkungan, bagaimana data diproses oleh mikrokontroler ESP32, serta bagaimana data tersebut dikirim dan ditampilkan baik secara lokal melalui LCD I2C maupun secara daring melalui platform Blynk. Alur ini juga menunjukkan bagaimana peran koneksi WiFi menjadi penghubung utama dalam proses transmisi data ke cloud, sehingga memungkinkan sistem dapat diakses secara real-time dan jarak jauh.



Gambar 8 Mekanisme komunikasi data

Flowchart di atas menggambarkan alur kerja sistem monitoring kualitas udara yang menggunakan mikrokontroler ESP32 dan beberapa sensor seperti DHT22, SGP30, dan GP2Y10. Proses dimulai ketika sistem dinyalakan. Pertama, sensor-sensor tersebut membaca data lingkungan secara berkala, meliputi suhu, kelembapan, total volatile organic compounds (TVOC), karbon dioksida ekivalen (eCO₂), dan partikel debu (PM2.5). Setelah data diperoleh, ESP32 akan memproses informasi dari seluruh sensor yang terhubung. Hasil pemrosesan ini kemudian ditampilkan secara langsung melalui modul LCD I2C sebagai tampilan lokal, sehingga pengguna dapat melihat kondisi lingkungan di sekitar alat tanpa perlu membuka aplikasi tambahan. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan data tersebut secara otomatis melalui koneksi WiFi ke platform Blynk. Blynk berperan sebagai dashboard monitoring berbasis cloud yang dapat diakses melalui perangkat seluler atau komputer.

Dengan mekanisme ini, pengguna dapat memantau data lingkungan secara real-time dari jarak jauh kapan saja dan di mana saja selama terhubung ke internet. Seluruh proses ini berlangsung secara otomatis dan berulang, sehingga sistem dapat terus melakukan pemantauan tanpa perlu intervensi manual.

3.2.5. Desain Fisik/Case Hardware

Casing perangkat dalam *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* ini dirancang untuk melindungi komponen elektronik di dalamnya sekaligus menjaga kerapuhan, keawetan, serta kemudahan dalam pengoperasian dan perawatan. Desain fisiknya menggabungkan material logam dan plastik hasil 3D printing, dengan tata letak yang disesuaikan terhadap kebutuhan instalasi komponen internal.

1. Material Casing

Bagian luar casing menggunakan besi yang kuat, memberikan perlindungan fisik terhadap benturan serta menjaga kestabilan struktur secara keseluruhan. Bagian dalam casing, khususnya pelindung dan penyangga PCB, dibuat dari bahan PLA+ menggunakan teknologi 3D printing. Material PLA+ dipilih karena sifatnya ringan, cukup kuat untuk penggunaan indoor, dan tahan terhadap suhu operasional dari rangkaian elektronik.

2. Dimensi dan Tata Letak

Casing dirancang dengan ukuran keseluruhan Panjang 30cm, lebar 41,5 cm dan tinggi 22 cm. ukuran ini sudah di perimbangkan komponen utama sistem, antara lain:

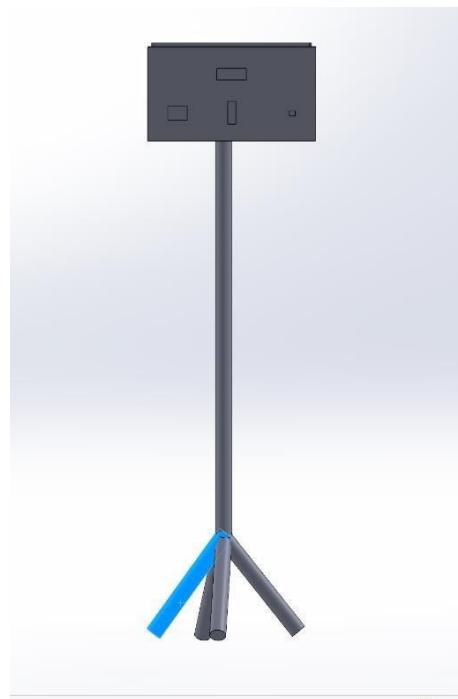
Table 8 ukuran komponen utama

Komponen	Perkiraan Dimensi (P x L x T) cm	Keterangan
ESP32	2,2cm x 5,2cm x 1,5cm	Modul mikrokontroler utama
Sensor DHT22	4,3cm x 1,5cm x 1cm	Sensor suhu dan kelembapan
Sensor GP2Y1010AU0F (PM2.5)	4,6cm x 3cm x 1,8cm	Sensor debu PM2.5
Sensor SGP30	1,3cm x 1,5cm x 1cm	Sensor VOC dan CO2 ekuivalen
LCD I2C	3,6cm x 8cm x 1,2cm	Tampilan LCD kecil
Power Supply MB102	3,2cm x 5,3cm x 1,2cm	Modul power supply

Semua komponen ditata dalam posisi yang ergonomis dan tidak saling tumpang tindih, sehingga memudahkan perawatan dan mencegah overheating. Tata letak bagian dalam juga mempertimbangkan jalur kabel silikon, koneksi power supply, serta ruang sirkulasi udara. Kabel-kabel dan slot sensor dipasang secara tetap pada dudukan hasil cetak 3D agar tidak mudah bergeser saat perangkat dioperasikan.

3. Fitur tambahan

Fitur tambahan pada desain casing ini dirancang untuk menunjang fungsionalitas dan kenyamanan penggunaan perangkat. Di bagian atas casing terdapat sebuah pintu berukuran sekitar $30\text{ cm} \times 41,5\text{ cm}$ yang memungkinkan pengguna membuka dan memantau kondisi internal perangkat dengan mudah, khususnya saat ingin melakukan pengecekan sensor atau sambungan kabel. Selain itu, di bagian samping casing disediakan ventilasi berukuran sekitar $2\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ untuk memastikan sirkulasi udara tetap lancar dan menjaga suhu perangkat tetap stabil selama beroperasi. Port akses untuk kabel USB, adaptor, dan sensor juga ditempatkan secara strategis pada sisi belakang dan samping casing, dengan ukuran yang disesuaikan agar proses pemasangan kabel lebih rapi dan tidak mengganggu komponen lain. Untuk menjaga kestabilan posisi komponen, bagian dalam casing dilengkapi dudukan tetap yang dibuat melalui pencetakan 3D, sehingga ESP32, sensor, dan modul lainnya dapat terpasang dengan kuat dan tidak mudah bergeser saat perangkat dipindahkan atau digunakan dalam jangka waktu lama.



Gambar 9 Tampak dari depan desain Fisik/Case Hardware

Gambar tersebut menunjukkan desain fisik perangkat monitoring kualitas udara berbasis IoT yang dipasang pada tiang penyangga vertikal dengan tiga kaki (tripod) di bagian bawah untuk menjaga kestabilan. Di bagian atas tiang terdapat casing berbentuk kotak yang menampung komponen utama seperti mikrokontroler, sensor, dan display. Terdapat beberapa lubang pada casing untuk ventilasi, port kabel, dan akses sensor. Desain ini memungkinkan perangkat diletakkan di berbagai lokasi dengan posisi yang stabil dan mudah diakses.

BAB IV

PRODUCT IMPLEMENTATION (PI)

(IMPLEMENTASI PENGEMBANGAN PRODUK)

4.1. PENDAHULUAN

Tahap implementasi produk merupakan kelanjutan dari proses perancangan yang telah dijelaskan dalam dokumen Product Design. Dokumen tersebut berfungsi sebagai panduan dalam mewujudkan *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* secara nyata, mencakup semua aspek mulai dari desain perangkat keras, pemrograman perangkat lunak, hingga alur kerja sistem. Implementasi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang dapat dioperasikan sesuai dengan fungsinya.

Tujuan utama dari proses implementasi ini adalah membangun sistem secara menyeluruh agar dapat digunakan untuk memantau kondisi lingkungan, seperti suhu, kelembaban, dan tingkat debu. Implementasi dilakukan dengan menggabungkan komponen perangkat keras seperti sensor DHT22, sensor PM2.5, dan mikrokontroler ESP32, serta menyusun perangkat lunak yang mendukung pembacaan data sensor dan pengiriman informasi secara real-time ke media tampilan seperti LCD dan aplikasi pemantauan.

Langkah-langkah dalam implementasi mencakup perakitan fisik perangkat, pemrograman mikrokontroler untuk membaca data dari sensor, pengujian respons sensor terhadap lingkungan sekitar, serta integrasi sistem dengan tampilan visual agar hasil pembacaan dapat ditampilkan secara langsung. Semua proses ini dilakukan secara bertahap untuk memastikan bahwa sistem bekerja secara akurat dan andal.

Dengan adanya tahap implementasi ini, konsep desain yang sebelumnya hanya berupa rancangan dapat diuji secara nyata dalam bentuk prototipe yang berfungsi. Hasil dari proses ini menjadi dasar untuk pengujian lebih lanjut, identifikasi potensi perbaikan, dan penyempurnaan sistem agar produk siap digunakan dalam skala lebih luas sesuai dengan tujuan awal pengembangan.

4.2. DESKRIPSI

Proses implementasi *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* dilakukan secara bertahap dan mengikuti desain yang telah dirancang sebelumnya. Sistem ini memanfaatkan tiga sensor utama, yaitu DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, sensor PM2.5 untuk mendeteksi partikel debu halus, serta SGP30 untuk memantau kadar gas seperti VOC dan CO₂. Seluruh sensor tersebut dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai pusat

pengendali sistem. Perakitan perangkat keras dimulai dengan menyusun komponen di atas PCB sesuai tata letak yang sudah dirancang, lalu menyolder kabel-kabel penghubung agar koneksi tetap stabil. Setelah itu, rangkaian dimasukkan ke dalam casing berbahan PLA+ yang dicetak menggunakan printer 3D. Casing ini dirancang agar kokoh, ringan, serta memiliki ventilasi udara dan pintu atas untuk memudahkan pengguna dalam memeriksa bagian dalam perangkat.

Setelah perangkat selesai dirakit, tahap berikutnya adalah pemrograman ESP32. Mikrokontroler ini diprogram untuk membaca data dari semua sensor secara berkala, lalu menampilkan hasilnya di layar LCD I2C yang terpasang di bagian depan casing. Selain itu, data juga dikirimkan secara otomatis ke aplikasi pemantauan berbasis internet, sehingga pengguna dapat melihat kondisi kualitas udara secara real-time melalui ponsel mereka, kapan saja dan di mana saja. Sistem ini bekerja secara otomatis tanpa perlu pengaturan manual, sehingga lebih praktis dan nyaman digunakan. Tujuan dari implementasi ini adalah menghadirkan perangkat yang tidak hanya fungsional, tetapi juga ramah pengguna dan dapat digunakan dalam jangka panjang.

4.2.1. Prinsip Implementasi

Dalam proses implementasi *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT*, beberapa prinsip diterapkan untuk memastikan bahwa produk dikembangkan dengan baik, efisien, dan sesuai kebutuhan. Metodologi yang digunakan adalah pendekatan iteratif, yaitu proses pengembangan dilakukan secara bertahap. Setiap komponen diuji satu per satu sebelum digabungkan menjadi satu sistem utuh. Dengan cara ini, jika ada bagian yang belum sesuai, bisa langsung diperbaiki tanpa harus mengulang dari awal.

Selama implementasi, prinsip modularitas diterapkan agar tiap bagian sistem, baik perangkat keras maupun perangkat lunaknya, mudah dikembangkan dan dirawat. Selain itu, efisiensi juga menjadi perhatian utama, terutama dalam penulisan program agar tidak menyebabkan sensor sulit terbaca dengan baik akibat beban kerja yang berlebihan pada mikrokontroler. Sistem juga dirancang supaya aman dan andal, misalnya dengan memastikan semua sambungan tersolder dengan rapi dan program diuji sebelum dijalankan penuh. Dalam pengembangan program, digunakan standar penulisan kode yang rapi dan mudah dibaca, sementara perakitan perangkat keras mengikuti panduan keselamatan agar rangkaian tetap stabil dan aman digunakan dalam jangka panjang.

4.2.2. Lingkungan Pengembangan Terintegrasi (IDE)

Selama proses pengembangan sistem, perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE versi 2.3.2. Versi ini dipilih karena memiliki tampilan antarmuka yang modern, sederhana,

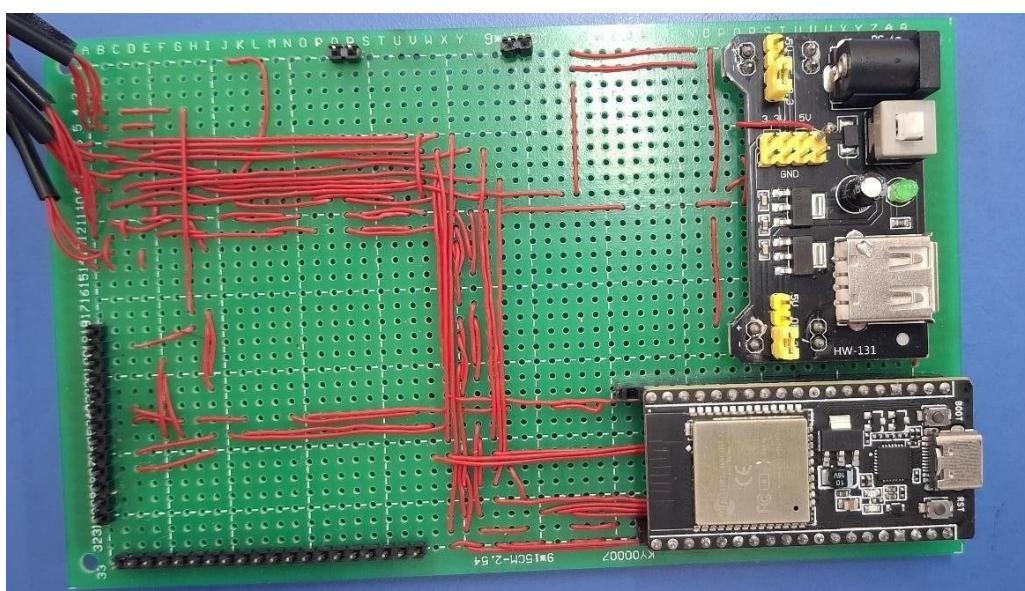
dan ramah pengguna, sehingga sangat cocok untuk pemrograman mikrokontroler seperti ESP32. Arduino IDE 2.3.2 juga telah mendukung berbagai jenis board melalui Board Manager, serta menyediakan Library Manager yang memudahkan dalam menginstal pustaka yang diperlukan, seperti DHT, SGP30, dan GP2Y10.

Selain itu, proses unggah program ke ESP32 dapat dilakukan dengan mudah tanpa memerlukan konfigurasi tambahan yang rumit. Dengan performa yang ringan dan stabil, Arduino IDE 2.3.2 sangat mendukung kebutuhan selama proses pengembangan dan implementasi sistem monitoring kualitas udara ini.

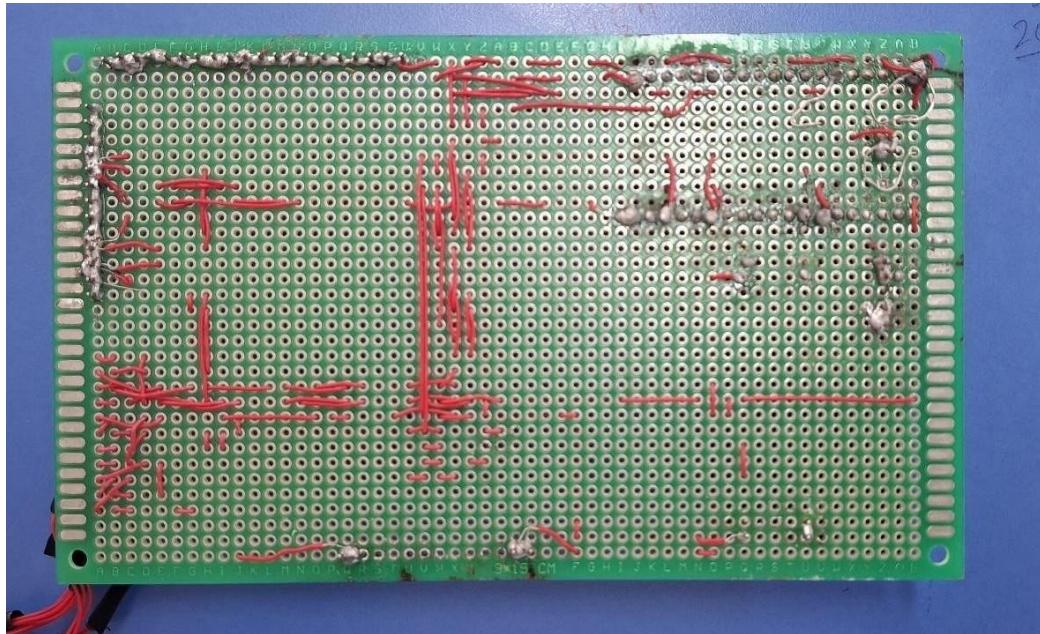
4.2.3. Implementasi Desain PCB

Untuk mendukung sistem monitoring kualitas udara ini, desain rangkaian dibuat dalam bentuk PCB (Printed Circuit Board) agar rangkaianya lebih rapi, kuat, dan mudah dirakit. Desain PCB dibuat menggunakan Fritzing karena tampilannya sederhana dan mudah digunakan, terutama bagi pemula, serta sudah menyediakan banyak komponen siap pakai yang mempermudah proses perancangan tata letak rangkaian secara digital.

Perakitan fisik dilakukan secara internal, yaitu menggunakan PCB kosong yang digunakan sebagai tempat pemasangan komponen. Semua komponen, termasuk ESP32 dan modul-modul pendukung, dipasang dan disolder secara manual langsung ke PCB tersebut. Penyolderan dilakukan dengan hati-hati agar sambungan kuat dan tidak mudah lepas. Dengan cara ini, perakitan lebih terkontrol dan memudahkan pengujian serta perawatan di kemudian hari.



Gambar 10 Implementasi Desain PCB dari bagian depan



Gambar 11 Implementasi Desain PCB tampak dari belakang

Implementasi desain PCB pada proyek *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT* dilakukan dengan merakit komponen utama ke dalam sebuah papan PCB berlubang (dot matrix board). Gambar 2.10 memperlihatkan tampilan bagian depan PCB, yang memuat modul mikrokontroler ESP32, modul power supply MB102, serta jalur koneksi antar komponen yang dirangkai menggunakan kabel jumper kecil berwarna merah. Penyusunan dilakukan secara sistematis untuk memastikan konektivitas antar bagian dapat berfungsi dengan baik.

Pada sisi belakang PCB yang ditampilkan pada Gambar 2.11, tampak jalur-jalur pengkabelan dan titik-titik solder yang menghubungkan antar baris koneksi. Proses penyolderan dilakukan dengan hati-hati guna memastikan kestabilan rangkaian serta menghindari terjadinya hubungan pendek (short circuit). Perlu dicatat bahwa sensor-sensor seperti DHT22 (suhu dan kelembapan), GP2Y10 (sensor debu), dan SGP30 (sensor VOC dan CO₂) tidak diintegrasikan langsung ke papan PCB ini, melainkan dihubungkan secara eksternal menggunakan kabel silikon. Pendekatan ini dipilih agar sensor dapat ditempatkan secara fleksibel sesuai kebutuhan pengukuran di lingkungan, serta untuk memudahkan penggantian atau perawatan sensor apabila diperlukan.

Desain PCB ini difokuskan untuk menampung komponen utama dan jalur kontrol sistem, sementara sensor berada di luar papan namun tetap terhubung ke ESP32. Dengan perancangan seperti ini, sistem menjadi lebih modular dan mudah dikembangkan atau disesuaikan untuk

kebutuhan yang berbeda di kemudian hari.

4.2.4. Implementasi Desain Fisik/Desain Case Hardware

Proses pembuatan casing dimulai dengan membuat desain menggunakan perangkat lunak SolidWorks yang disesuaikan dengan ukuran dan bentuk komponen alat. Setelah desain selesai, bagian casing pelindung PCB dicetak menggunakan teknik 3D printing dengan bahan PLA+. Sementara itu, casing utama dibuat dari besi dengan proses pemotongan dan pembentukan sesuai desain. Setelah semua bagian casing selesai dibuat, dilakukan proses perakitan dengan memasang casing pelindung PCB ke dalam casing utama. Selanjutnya, casing besi menjalani tahap finishing berupa pengamplasan dan pengecatan untuk memperhalus permukaan dan memberikan tampilan yang rapi. Casing juga dilengkapi dengan ventilasi udara dan pintu atas agar mudah dalam pengamatan kondisi perangkat di dalamnya.



Gambar 12 Implementasi Desain Fisik

Gambar tersebut menunjukkan implementasi fisik dari *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* yang telah selesai dirakit dan dipasang pada sebuah tiang penyangga permanen.

Bagian atas alat berfungsi untuk menyimpan dan melindungi mikrokontroler ESP32 dan *power supply* dari cuaca dan gangguan luar. Sementara itu, sensor-sensor seperti DHT22 untuk suhu dan kelembaban, SGP30 untuk gas seperti CO₂ dan VOC, serta GP2Y10 untuk mendeteksi debu atau partikel udara dipasang di bagian luar depan prototipe, agar dapat langsung mengukur kondisi udara di sekitar. Di bagian depan alat juga terdapat layar LCD I2C untuk menampilkan hasil pengukuran secara langsung. Alat ini dipasang pada tiang logam dengan tiga kaki penyangga, sehingga bisa berdiri dengan stabil di berbagai lokasi. Kabel yang keluar dari wadah menunjukkan sambungan ke sumber listrik.

4.2.5. Integrasi Hardware dan Software

Integrasi antara hardware dan software pada *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* ini dimulai dengan menghubungkan mikrokontroler ESP32 ke berbagai sensor utama, yaitu DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan, SGP30 untuk pengukuran gas (TVOC dan eCO₂), serta sensor debu GP2Y10 untuk mendeteksi partikel PM2.5 di udara. Setelah seluruh perangkat keras terpasang dengan baik, ESP32 diprogram agar dapat membaca data dari setiap sensor secara berkala dan memprosesnya secara mandiri. Data yang telah diolah kemudian ditampilkan secara lokal pada layar LCD I2C, serta dikirimkan secara real-time melalui jaringan WiFi ke platform Blynk.

Komunikasi data melalui WiFi menjadi bagian penting dalam integrasi ini karena memungkinkan ESP32 mengirimkan data ke cloud secara otomatis tanpa kabel tambahan. Platform Blynk berperan sebagai antarmuka monitoring berbasis internet, di mana pengguna dapat memantau kualitas udara langsung melalui smartphone atau komputer dari jarak jauh. Setelah proses pemrograman selesai, dilakukan pengujian awal untuk memastikan komunikasi antara perangkat keras dan perangkat lunak berjalan dengan baik. Pengujian ini meliputi pengecekan apakah sensor dapat terbaca oleh ESP32, apakah data dapat ditampilkan pada LCD I2C, serta apakah data dapat terkirim ke Blynk melalui koneksi WiFi. Validasi dilakukan untuk memastikan setiap komponen saling terhubung dan berfungsi sebagaimana mestinya.

Jika ditemukan kendala selama pengujian, maka dilakukan proses debugging secara sistematis untuk mengidentifikasi dan memperbaiki masalah. Debugging ini mencakup pengecekan ulang kode program, pemeriksaan koneksi WiFi, komunikasi antar perangkat, serta kondisi sensor dan sambungan kabel. Setelah seluruh kendala berhasil diatasi, sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT dapat berjalan sesuai dengan rancangan, memberikan hasil pengukuran yang akurat, real-time, dan mudah diakses oleh pengguna.

Berikut adalah kode implementasi sensor menggunakan Blynk :

```

// Konfigurasi Blynk
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6_IiR_HAc"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "kualitas udara"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "LNlb0oiADOHax4_UNNR3tKOTNCjjDn_r"

// Library
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <Adafruit_SGP30.h>
#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <time.h>

// WiFi
char ssid[] = "OPPO A60";
char pass[] = "11333344";

// DHT22
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// SGP30
Adafruit_SGP30 sgp;

// LCD I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Sensor Debu (GP2Y1010)
#define DUST_LED_PIN 16
#define DUST_VO_PIN 34

// Virtual Pin Blynk
#define VPIN_SUHU V0
#define VPIN_KELEMBAPAN V1
#define VPIN_ECO2 V2
#define VPIN_TVOC V3
#define VPIN_DEBU V4
#define VPIN_STATUS V5

// NTP Time
const char* ntpServer = "pool.ntp.org";
const long gmtOffset_sec = 7 * 3600;
const int daylightOffset_sec = 0;

unsigned long lastReadTime = 0;

// -----

```

```

// SETUP
// -----
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    Wire.begin();

    pinMode(DUST_LED_PIN, OUTPUT);
    digitalWrite(DUST_LED_PIN, HIGH);

    dht.begin();
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Menghubung WiFi");

    Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
    configTime(gmtOffset_sec, daylightOffset_sec, ntpServer);

    if (!sgp.begin()) {
        Serial.println("SGP30 tidak terdeteksi!");
        lcd.clear();
        lcd.print("SGP30 ERROR");
        while (1);
    }

    sgp.IAQinit();
    lcd.clear();
}

// -----
// LOOP
// -----
void loop() {
    Blynk.run();

    if (millis() - lastReadTime >= 5000) {
        lastReadTime = millis();

        // Baca sensor suhu dan kelembapan
        float suhu = dht.readTemperature();
        float lembap = dht.readHumidity();
        if (isnan(suhu) || isnan(lembap)) {
            Serial.println("Gagal baca DHT22");
            return;
        }

        // Baca sensor SGP30
        if (!sgp.IAQmeasure()) {
            Serial.println("Gagal baca SGP30");
            return;
        }
        sgp.setHumidity(getAbsoluteHumidity(suhu, lembap));
    }
}

```

```

// Baca sensor debu
digitalWrite(DUST_LED_PIN, LOW);
delayMicroseconds(280);
int adcDust = analogRead(DUST_VO_PIN);
delayMicroseconds(40);
digitalWrite(DUST_LED_PIN, HIGH);

float voltage = adcDust * (3.3 / 4095.0);
float debuMgM3 = (voltage - 0.9) / 0.5;
if (debuMgM3 < 0) debuMgM3 = 0;

// Tentukan status kualitas udara
bool kualitasBuruk = (sgp.eCO2 > 1000 || sgp.TVOC > 500 || debuMgM3 > 2.5);
String status = kualitasBuruk ? "Buruk" : "Baik";
String waktu = getFormattedDateTime();
String hari = getHari();

// Serial Monitor
Serial.println("=====");
Serial.println("Waktu: " + waktu);
Serial.println("Hari: " + hari);
Serial.println("Suhu: " + String(suhu));
Serial.println("Kelembapan: " + String(lembap));
Serial.println("eCO2: " + String(sgp.eCO2));
Serial.println("TVOC: " + String(sgp.TVOC));
Serial.println("Debu: " + String(debuMgM3));
Serial.println("Status: " + status);
Serial.println("=====");

// LCD
tampilkanLCD(suhu, lembap, sgp.TVOC, sgp.eCO2, debuMgM3, status);

// Kirim ke Blynk
Blynk.virtualWrite(VPIN_SUHU, suhu);
Blynk.virtualWrite(VPIN_KELEMBAPAN, lembap);
Blynk.virtualWrite(VPIN_ECO2, sgp.eCO2);
Blynk.virtualWrite(VPIN_TVOC, sgp.TVOC);
Blynk.virtualWrite(VPIN_DEBU, debuMgM3);
Blynk.virtualWrite(VPIN_STATUS, status);

// Kirim ke Google Sheets
sendToGoogleSheet(suhu, lembap, sgp.eCO2, sgp.TVOC, debuMgM3, status, waktu, hari);
}

// -----
// TAMPILKAN KE LCD
// -----
void tampilkanLCD(float suhu, float lembap, int tvoc, int eco2, float debu, String status) {

```

```

lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Suhu:");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(suhu, 1); lcd.print(" C");
delay(2000);
lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Lembap:");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(lembap, 1); lcd.print(" %");
delay(2000);
lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("TVOC:");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(tvoc); lcd.print(" ppb");
delay(2000);
lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("eCO2:");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(eco2); lcd.print(" ppm");
delay(2000);
lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Debu:");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(debu, 2); lcd.print(" mg/m3");
delay(2000);
lcd.clear(); lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("Kualitas:");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(status); delay(2000);
}

// -----
// KIRIM KE GOOGLE SHEETS
// -----
void sendToGoogleSheet(float suhu, float lembap, int eco2, int
tvoc, float debu, String status, String waktu, String hari) {
    HTTPClient http;
    String url =
"https://script.google.com/macros/s/AKfycbzgHZTXXoSayHrTRB0eDK
6Js5vTPBQz0Nt94ixFu7gnJBmUdhyFqJghby5acnNO-6ItQ/exec";
    http.begin(url);
    http.addHeader("Content-Type", "application/json");

    String data = "{";
    data += "\"tanggaljam\": \"" + waktu + "\", ";
    data += "\"hari\": \"" + hari + "\", ";
    data += "\"suhu\": " + String(suhu, 1) + ", ";
    data += "\"kelembapan\": " + String(lembap, 1) + ", ";
    data += "\"eco2\": " + String(eco2) + ", ";
    data += "\"tvoc\": " + String(tvoc) + ", ";
    data += "\"debu\": " + String(debu, 2) + ", ";
    data += "\"status\": \"\" + status + "\"\"";
    data += "}";

    Serial.println("Mengirim ke Google Sheets...");
    Serial.println(data);

    int httpResponseCode = http.POST(data);
    Serial.println("Respon Google Sheet: " + String(httpResponseCode));

    if (httpResponseCode != 200) {
        String payload = http.getString();
        Serial.println("Isi error: " + payload);
    }
}

```

```

    http.end();
}

// -----
// FUNGSI TAMBAHAN
// -----
uint32_t getAbsoluteHumidity(float temperature, float humidity)
{
    float AH = 216.7f * ((humidity / 100.0f) * 6.112f *
                           exp((17.62f * temperature) / (243.12f +
    temperature)) /
                           (273.15f + temperature));
    return (uint32_t)(AH * 1000.0f);
}

String getFormattedDateTime() {
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
        Serial.println("Gagal ambil waktu NTP!");
        return "00-00-0000 00:00:00";
    }

    char timeStr[25];
    strftime(timeStr, sizeof(timeStr), "%d-%m-%Y %H:%M:%S",
    &timeinfo);
    return String(timeStr);
}

String getHari() {
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) return "Tidak diketahui";

    char hariStr[15];
    strftime(hariStr, sizeof(hariStr), "%A", &timeinfo);
    return String(hariStr);
}

```

Integrasi ini menghasilkan sistem yang mampu dikendalikan secara real-time menggunakan aplikasi Blynk, memperbaiki data real-time dan dapat dipantau dengan mudah dalam operasional *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT*.

BAB V

PRODUCT TESTING (PT)

(PENGUJIAN PRODUK)

5.1. PENDAHULUAN

Pengujian produk dilakukan untuk memastikan bahwa alat yang telah dirancang dan dibangun benar-benar bekerja sesuai fungsinya. Pada sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT ini, pengujian menjadi bagian penting sebelum alat digunakan secara nyata. Tujuan utamanya adalah untuk mengecek apakah sistem mampu membaca, mengolah, dan mengirimkan data kondisi udara secara real-time sesuai desain yang sudah dibuat.

Lingkup pengujian mencakup seluruh komponen sistem, baik dari sisi perangkat keras seperti ESP32, sensor DHT22, SGP30, dan GP2Y1010AU0F, maupun dari sisi perangkat lunaknya, termasuk pemrograman mikrokontroler dan tampilan data melalui aplikasi Blynk. Selain itu, pengujian dilakukan untuk melihat apakah komponen-komponen tersebut saling terhubung dengan baik, serta apakah data yang ditampilkan benar dan bisa dipahami oleh pengguna.

Proses pengujian ini dilakukan berdasarkan acuan dari dokumen desain dan implementasi produk yang sudah disusun sebelumnya. Artinya, pengujian ini juga menjadi semacam alat bantu untuk memastikan bahwa semua yang sudah dirancang benar-benar diterapkan dan berjalan sesuai ekspektasi. Jika ternyata ada bagian yang belum sesuai, maka hasil pengujian ini akan sangat membantu dalam proses evaluasi dan perbaikan.

Melalui tahap pengujian ini, kita bisa menilai apakah sistem sudah siap digunakan dalam jangka waktu tertentu dan di lingkungan sebenarnya. Selain memastikan kualitas dan keandalannya, pengujian ini juga membantu menemukan kendala teknis sejak dini agar bisa segera diperbaiki sebelum alat digunakan oleh pengguna akhir.

5.2. DESKRIPSI PENGUJIAN

Pengujian dilakukan terhadap tiga sensor utama, yaitu DHT22, SGP30, dan GP2Y10 Sensor DHT22 diuji untuk memastikan pembacaan suhu dan kelembapan berjalan dengan akurat. Sensor SGP30 diuji untuk memastikan data TVOC dan eCO₂ dapat terbaca dan dikirim ke aplikasi Blynk. Sementara itu, sensor GP2Y1010AU0F diuji untuk mendeteksi kadar debu PM2.5. Pengujian juga memastikan bahwa ketiga sensor dapat bekerja terintegrasi dengan ESP32, menampilkan data di LCD I2C, dan mengirimkannya secara real-time melalui WiFi ke platform Blynk.

Tujuan utama dari semua pengujian ini adalah memastikan bahwa alat yang dikembangkan

benar-benar dapat memenuhi kebutuhan pengguna, yaitu memantau kondisi udara secara real-time dan memberikan informasi yang jelas serta bisa diandalkan. Dengan begitu, alat ini tidak hanya layak digunakan, tapi juga memberikan manfaat yang maksimal di lingkungan tempat ia dioperasikan.

5.2.1. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 dilakukan untuk memastikan sensor dapat membaca suhu dan kelembapan secara akurat. Sensor dihubungkan ke ESP32 dan dipantau melalui LCD I2C serta aplikasi Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai suhu dan kelembapan terbaca dengan baik dan stabil, serta berhasil dikirim secara real-time melalui WiFi ke dashboard Blynk tanpa adanya keterlambatan atau gangguan transmisi data.

Table 9 Hasil pengujian sensor DHT22 Hari 1

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	Suhu (°C)	Kelembaban (%)
1	23-05-2025, 20:24	25.7	66.1
2	23-05-2025, 20:25	25.8	65.6
3	23-05-2025, 20:26	25.9	65.5
4	23-05-2025, 20:27	26	65.5
5	23-05-2025, 20:28	26.1	65.1
6	23-05-2025, 20:29	26.1	65
7	23-05-2025, 20:30	26.1	65.7
8	23-05-2025, 20:31	26	66.3
9	23-05-2025, 20:32	26	65.5
10	23-05-2025, 20:33	26	65.8
11	23-05-2025, 20:34	25.9	65.8
12	23-05-2025, 20:35	25.9	66

Table 10 Hasil pengujian sensor DHT22 Hari 2

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
1	24-05-2025, 18:44	27.1	63.3
2	24-05-2025, 18:45	27	63.2
3	24-05-2025, 18:46	27	63.3
4	24-05-2025, 18:47	27	63
5	24-05-2025, 18:48	26.9	63.1
6	24-05-2025, 18:49	26.9	63.2
7	24-05-2025, 18:50	26.8	63.3
8	24-05-2025, 18:51	26.8	63.5
9	24-05-2025, 18:52	26.8	63.6
10	24-05-2025, 18:53	26.8	63.6
11	24-05-2025, 18:54	26.8	64.8
12	24-05-2025, 18:55	26.8	64.4

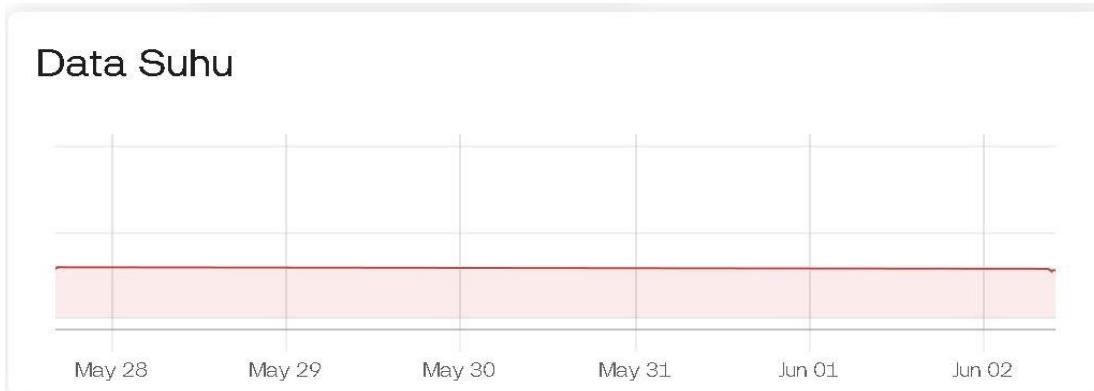
Table 11 Hasil pengujian sensor DHT22 Hari 3

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	Suhu (°C)	Kelembapan (%)
1	25-05-2025, 17:01	26.3	60.5
2	25-05-2025, 17:02	26.7	58.6
3	25-05-2025, 17:03	26.9	58.2
4	25-05-2025, 17:04	27	57.5
5	25-05-2025, 17:05	27.1	57.4
6	25-05-2025, 17:06	27.2	57.2
7	25-05-2025, 17:07	27.2	56.8
8	25-05-2025, 17:08	27.3	56.7
9	25-05-2025, 17:09	27.3	56.5
10	25-05-2025, 17:10	27.4	56.6
11	25-05-2025, 17:11	27.4	56.5
12	25-05-2025, 17:12	27.4	56.7

Hasil pengujian sensor DHT22 selama tiga hari menunjukkan bahwa sensor mampu membaca suhu dan kelembapan secara stabil dan konsisten. Pada Hari 1 (23-05-2025), suhu berkisar antara 25.7°C hingga 26.1°C dengan kelembapan antara 65.0% hingga 66.3%, menandakan kondisi ruangan yang relatif sejuk dan lembap. Pada Hari 2 (24-05-2025), suhu sedikit meningkat dengan kisaran 26.8°C hingga 27.1°C, sedangkan kelembapan turun sedikit menjadi 63.0% hingga 64.8%, menunjukkan perubahan kondisi lingkungan yang lebih hangat dan agak kering. Sedangkan pada Hari 3 (25-05-2025), suhu terus meningkat dengan nilai tertinggi 27.4°C, dan kelembapan turun lebih signifikan hingga 56.5%, mengindikasikan lingkungan yang lebih panas dan kering dibandingkan hari sebelumnya. Secara umum, sensor DHT22 berfungsi dengan baik dalam mendeteksi perubahan suhu dan kelembapan dari waktu

ke waktu, serta memberikan data yang realistik dan sesuai dengan kondisi lingkungan sekitar. Hasil ini juga memperlihatkan kemampuan sensor dalam mendeteksi tren perubahan iklim mikro secara real-time dan akurat.

Gambar berikut menunjukkan grafik data suhu yang diambil selama beberapa hari menggunakan sensor DHT22.



Gambar 13 Grafik data Suhu

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai suhu yang terukur cenderung stabil selama periode pengamatan, yaitu dari tanggal 28 Mei hingga 2 Juni. Tidak terdapat fluktuasi yang signifikan, yang menunjukkan bahwa lingkungan tempat sensor dipasang berada dalam kondisi suhu yang relatif konstan. Hal ini juga menunjukkan bahwa sensor DHT22 bekerja dengan baik dan mampu memberikan data suhu secara konsisten selama beberapa hari pengujian.

Gambar berikut menunjukkan grafik data Kelembaban yang diambil selama beberapa hari menggunakan sensor DHT22.



Gambar 14 Grafik data kelembaban

Gambar di atas menunjukkan grafik data kelembapan dari tanggal 28 Mei hingga 2 Juni. Terlihat bahwa tingkat kelembapan mengalami kenaikan yang stabil setiap harinya, meskipun kenaikannya relatif kecil. Pada akhir periode, tepatnya tanggal 2 Juni, terdapat sedikit penurunan tajam yang kemungkinan disebabkan oleh pembacaan sensor terakhir atau gangguan data. Grafik ini menggambarkan bahwa lingkungan yang dipantau cenderung memiliki kelembapan yang stabil dengan tren meningkat secara perlahan.

5.2.2. Pengujian Sensor SGP30

Pengujian sensor SGP30 dilakukan untuk memastikan kemampuannya dalam membaca konsentrasi TVOC (Total Volatile Organic Compounds) dan eCO₂ (estimated Carbon Dioxide) secara akurat dan stabil. Sensor dihubungkan ke mikrokontroler ESP32, lalu hasil pembacaan ditampilkan melalui LCD I2C serta dikirim secara real-time ke aplikasi Blynk menggunakan koneksi WiFi.

Selama tiga hari pengujian, sensor menunjukkan performa yang baik dengan hasil pembacaan nilai TVOC dan eCO₂ yang konsisten. Setiap data yang dihasilkan dapat ditampilkan dengan jelas di LCD serta berhasil dikirim ke dashboard Blynk. Secara keseluruhan, sensor SGP30 bekerja secara optimal, memberikan informasi kualitas udara berupa nilai TVOC dan eCO₂ yang dapat diandalkan untuk pemantauan kondisi udara secara real-time.

Table 12 Hasil Pengujian Sensor SGP30 Hari 1

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	TVOC (ppb)	eCO ₂ (ppm)
1	23-05-2025, 20:24	400	0
2	23-05-2025, 20:25	400	0
3	23-05-2025, 20:26	428	0
4	23-05-2025, 20:27	884	0
5	23-05-2025, 20:28	618	0
6	23-05-2025, 20:29	400	0
7	23-05-2025, 20:30	400	0
8	23-05-2025, 20:31	4904	369
9	23-05-2025, 20:32	400	0
10	23-05-2025, 20:33	400	0
11	23-05-2025, 20:34	400	0
12	23-05-2025, 20:35	400	0

Table 13 Hasil Pengujian Sensor SGP30 Hari 2

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	TVOC (ppb)	eCO ₂ (ppm)
1	24-05-2025, 18:44	400	0
2	24-05-2025, 18:45	498	0
3	24-05-2025, 18:46	400	0
4	24-05-2025, 18:47	400	0
5	24-05-2025, 18:48	400	0
6	24-05-2025, 18:49	400	0
7	24-05-2025, 18:50	400	0
8	24-05-2025, 18:51	400	0
9	24-05-2025, 18:52	400	0
10	24-05-2025, 18:53	400	0
11	24-05-2025, 18:54	400	0
12	24-05-2025, 18:55	400	0

Table 14 Hasil Pengujian Sensor SGP30 Hari 3

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	TVOC (ppb)	eCO ₂ (ppm)
1	25-05-2025, 17:01	400	0
2	25-05-2025, 17:02	523	0
3	25-05-2025, 17:03	633	0
4	25-05-2025, 17:04	494	0
5	25-05-2025, 17:05	400	0
6	25-05-2025, 17:06	400	0
7	25-05-2025, 17:07	400	0
8	25-05-2025, 17:08	400	0
9	25-05-2025, 17:09	400	0
10	25-05-2025, 17:10	400	0
11	25-05-2025, 17:11	400	0
12	25-05-2025, 17:12	400	0

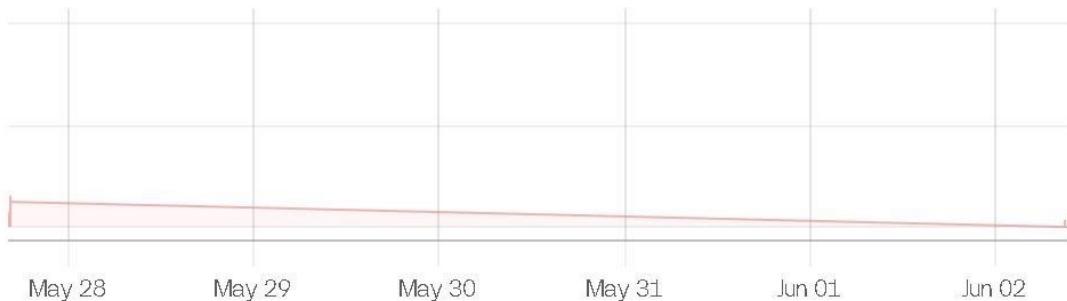
Selama tiga hari pengujian, sensor SGP30 menunjukkan performa yang stabil dalam mendeteksi Total Volatile Organic Compounds (TVOC) dan equivalent Carbon Dioxide (eCO₂). Pada Hari 1, sensor mencatat adanya fluktuasi signifikan pada nilai TVOC, mulai dari 400 ppb hingga puncaknya mencapai 4904 ppb, dengan nilai eCO₂ mulai dari 0 ppm dan sempat mencapai 369 ppm. Lonjakan ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi adanya peningkatan gas di lingkungan, kemungkinan karena adanya aktivitas manusia atau bahan kimia di sekitar alat. Pada Hari 2, hasil pengukuran menunjukkan kondisi yang relatif stabil dengan TVOC hampir seluruhnya berada di angka dasar 400 ppb dan eCO₂ tetap pada 0

ppm. Ini mengindikasikan bahwa lingkungan tempat pengujian berada dalam kondisi udara yang cukup bersih dan minim polutan.

Sementara itu, pada Hari 3, sensor kembali mendeteksi sedikit fluktuasi TVOC di awal pengujian, mencapai 633 ppb, sebelum akhirnya kembali stabil di angka 400 ppb. Nilai eCO₂ selama hari ketiga tetap berada di 0 ppm, menandakan tidak adanya peningkatan signifikan dalam konsentrasi karbon dioksida ekivalen. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor SGP30 mampu bekerja dengan baik dalam mendeteksi keberadaan gas TVOC dan eCO₂ di udara. Sensor merespons dengan baik terhadap perubahan kondisi lingkungan, dan saat lingkungan stabil, pembacaan sensor pun cenderung konsisten.

Gambar berikut menunjukkan grafik data TVOC yang diambil selama beberapa hari menggunakan sensor SGP30.

Data TVOC

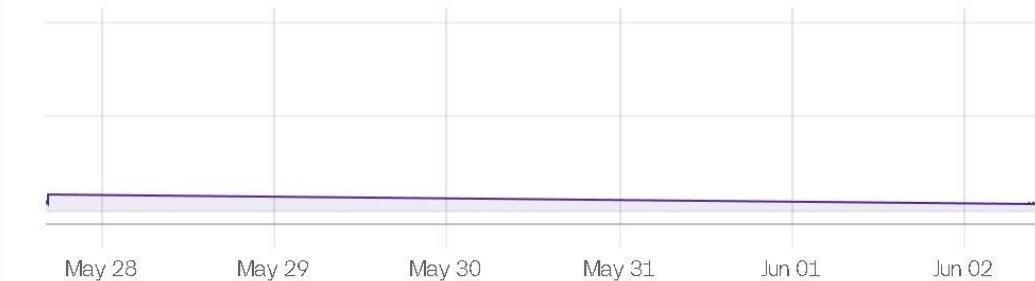


Gambar 15 Grafik data TVOC

Gambar di atas menunjukkan grafik data Total Volatile Organic Compounds (TVOC) dari tanggal 28 Mei hingga 2 Juni. Berdasarkan grafik, terlihat adanya penurunan konsentrasi TVOC secara bertahap dari hari ke hari, yang mengindikasikan bahwa kualitas udara dalam hal senyawa organik volatil semakin membaik selama periode tersebut. Namun, pada tanggal 2 Juni, terdapat sedikit lonjakan pada akhir waktu pengukuran yang perlu diperhatikan lebih lanjut untuk memastikan tidak adanya sumber polutan mendadak.

Gambar berikut menunjukkan grafik data eCO₂ yang diambil selama beberapa hari menggunakan sensor SGP30.

Data eCO2



Gambar 16 Grafik data eCO2

Gambar di atas menunjukkan grafik data eCO₂ (estimated Carbon Dioxide) dari tanggal 28 Mei hingga 2 Juni. Terlihat bahwa nilai eCO₂ mengalami penurunan secara bertahap selama periode pemantauan. Penurunan ini menunjukkan adanya peningkatan kualitas udara dalam ruangan, khususnya dari segi konsentrasi gas karbon dioksida, yang biasanya berkaitan erat dengan tingkat ventilasi dan aktivitas manusia di lingkungan tersebut.

5.2.3. Pengujian Sensor GP2Y10

Pengujian sensor GP2Y10 dilakukan untuk memastikan sensor debu ini mampu mendeteksi partikel udara dengan baik. Sensor dihubungkan ke mikrokontroler ESP32, lalu data dibaca dan ditampilkan melalui LCD I2C serta dikirim ke aplikasi Blynk secara real-time melalui koneksi WiFi. Selama tiga hari pengujian, sensor berhasil menampilkan nilai konsentrasi debu secara stabil dan responsif terhadap perubahan kondisi udara di sekitar. Hasil yang ditampilkan menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan baik, tidak mengalami keterlambatan pengiriman data, dan mampu memberikan informasi kualitas udara secara terus-menerus.

Table 15 Hasil Pengujian Sensor GP2Y10 Hari 1

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	23-05-2025, 20:24	0
2	23-05-2025, 20:25	4.8
3	23-05-2025, 20:26	0.13
4	23-05-2025, 20:27	0
5	23-05-2025, 20:28	0
6	23-05-2025, 20:29	0
7	23-05-2025, 20:30	0
8	23-05-2025, 20:31	3.59
9	23-05-2025, 20:32	4.23
10	23-05-2025, 20:33	4.26
11	23-05-2025, 20:34	3.87
12	23-05-2025, 20:35	2.38

Table 16 Hasil Pengujian Sensor GP2Y10 Hari 2

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	24-05-2025, 18:44	4.8
2	24-05-2025, 18:45	4.8
3	24-05-2025, 18:46	2.67
4	24-05-2025, 18:47	3.25
5	24-05-2025, 18:48	2.05
6	24-05-2025, 18:49	1.82
7	24-05-2025, 18:50	0
8	24-05-2025, 18:51	0
9	24-05-2025, 18:52	0
10	24-05-2025, 18:53	0
11	24-05-2025, 18:54	2.04
12	24-05-2025, 18:55	2.75

Table 17 Hasil Pengujian Sensor GP2Y10 Hari 3

No	Tanggal dan Waktu Pengujian	Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	25-05-2025, 17:01	0
2	25-05-2025, 17:02	4.8
3	25-05-2025, 17:03	4.8
4	25-05-2025, 17:04	0
5	25-05-2025, 17:05	0
6	25-05-2025, 17:06	0
7	25-05-2025, 17:07	0.27
8	25-05-2025, 17:08	4.4
9	25-05-2025, 17:09	4.32
10	25-05-2025, 17:10	3.92
11	25-05-2025, 17:11	1.71
12	25-05-2025, 17:12	0

Pengujian sensor GP2Y10 selama tiga hari berturut-turut menunjukkan bahwa sensor mampu mendekripsi konsentrasi partikel debu di udara dengan satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ secara stabil. Pada Hari ke-1, sensor mendekripsi beberapa fluktuasi nilai dengan nilai tertinggi mencapai sekitar $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, menandakan adanya partikel debu dalam jumlah sedang. Di Hari ke-2, nilai debu cenderung rendah dan stabil, meskipun sesekali menunjukkan lonjakan ringan hingga $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sedangkan di Hari ke-3, pola pembacaan mirip dengan hari sebelumnya, yaitu mayoritas rendah namun terdapat beberapa lonjakan, dengan nilai maksimum tetap di $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Secara umum, sensor mampu merespons perubahan kualitas udara dengan baik, dan tidak menunjukkan pembacaan yang tidak wajar atau error. Ini membuktikan bahwa sensor GP2Y10

bekerja secara optimal dalam mendekripsi partikel debu pada kondisi lingkungan yang diuji.

5.3.1. Pengujian Integrasi Software dan Hardware

Pengujian integrasi dilakukan untuk memastikan bahwa perangkat lunak berbasis monitoring kualitas udara dapat berkomunikasi secara real-time dan akurat dengan perangkat keras sensor. Uji integrasi ini mencakup pembacaan data dari sensor DHT22 (suhu dan kelembapan), sensor SGP30 (TVOC dan eCO₂), serta sensor GP2Y10 (debu), yang kemudian ditampilkan dan diproses dalam antarmuka monitoring.

Table 18 Pengujian Integrasi

Komponen Sensor	Pengujian	Hasil yang Diharapkan
Sensor DHT22	Membaca suhu dan kelembapan secara berkala	Data suhu dan kelembapan tampil akurat dan konsisten
Sensor SGP30	Membaca kadar TVOC dan eCO ₂ secara berkala	Data suhu dan kelembapan tampil akurat dan konsisten
Sensor GP2Y1010AU0F	Membaca kadar debu secara berkala	Nilai konsentrasi debu tercatat dan berubah sesuai udara

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring dapat membaca dan menampilkan data dari ketiga sensor secara tepat dan konsisten selama tiga hari pengujian. Data sensor dikirim dari ESP32 ke perangkat lunak monitoring melalui komunikasi data WiFi dan berhasil diproses serta ditampilkan secara real-time tanpa adanya keterlambatan yang berarti. Integrasi antara perangkat keras sensor dan perangkat lunak monitoring berjalan lancar. Tidak ditemukan malfungsi atau error komunikasi yang mengganggu pengambilan data. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat memantau kualitas udara secara akurat dan andal.

BAB VI

PRODUCT RELEASE (PR)

(PELUNCURAN PRODUK)

6.1. PENDAHULUAN

Peluncuran produk merupakan tahap akhir dari proses pengembangan *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* yang telah dirancang dan dibangun. Setelah melalui tahapan desain, implementasi, dan pengujian secara menyeluruh, sistem ini siap digunakan oleh pengguna sebagai alat yang membantu memantau kondisi udara secara real-time.

Tujuan peluncuran ini adalah memastikan sistem monitoring kualitas udara dapat digunakan secara efektif oleh masyarakat atau pihak terkait, baik secara terbatas (soft launch) maupun secara luas (full launch). Dengan peluncuran ini, pengguna dapat mulai memanfaatkan alat berbasis IoT ini untuk memantau suhu, kelembaban, kadar gas, dan partikel debu melalui aplikasi monitoring online menggunakan platform Blynk, sehingga pengawasan kualitas udara menjadi mudah dan praktis.

Peluncuran ini menandai bahwa seluruh komponen dalam sistem mulai dari sensor, mikrokontroler ESP32, hingga aplikasi Blynk telah terintegrasi dan diuji dengan baik sesuai dokumen desain dan implementasi produk. Sistem sudah siap memberikan data akurat untuk membantu pengguna mengambil tindakan tepat dalam menjaga kualitas udara di lingkungan sekitar.

Kesiapan sistem monitoring ini berdasarkan hasil pengujian yang memastikan alat berfungsi dengan baik secara fungsional dan handal dalam berbagai kondisi. Dengan demikian, peluncuran ini menjadi momen penting untuk memperkenalkan solusi IoT yang bermanfaat dalam menjaga kesehatan dan kenyamanan lingkungan sehari-hari.

6.2. DESKRIPSI

Peluncuran *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* ini dilakukan secara terbatas di lingkungan kampus sebagai bagian dari penerapan awal produk. Lokasi peluncuran difokuskan pada ruang kelas dan laboratorium, tempat mahasiswa sering beraktivitas dan membutuhkan kenyamanan serta kualitas udara yang baik untuk mendukung proses belajar dan praktik. Peluncuran ini dilakukan secara langsung dengan pemasangan alat di ruang yang telah ditentukan.

Strategi peluncuran dilakukan melalui distribusi langsung kepada pengguna awal, yaitu dosen dan mahasiswa yang menjadi bagian dari kegiatan akademik harian. Tidak dilakukan acara peluncuran secara formal, namun proses distribusi tetap disertai dengan penjelasan teknis singkat dari pengembang agar pengguna memahami cara kerja alat dan tujuan penggunaannya. Selain itu, pengguna juga diberi kesempatan memberikan umpan balik selama masa penggunaan.

Dalam proses peluncuran ini, persiapan yang dilakukan difokuskan pada kesiapan perangkat keras dan perangkat lunak agar dapat berfungsi dengan baik saat digunakan. Walaupun produk ini belum dilengkapi dengan dokumentasi resmi seperti user manual atau panduan teknis tertulis, pengembang tetap memberikan panduan penggunaan secara langsung agar tidak terjadi kesalahan saat pengoperasian alat.

Melalui peluncuran terbatas ini, sistem mulai diuji dalam kondisi nyata oleh pengguna akhir untuk melihat seberapa efektif dan bermanfaat alat ini dalam lingkungan kampus. Hasil dari tahap ini akan menjadi pertimbangan penting untuk pengembangan dokumentasi resmi serta strategi peluncuran lebih luas di masa mendatang.

6.3. DAYA GUNA PRODUK

Sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT ini memiliki beberapa keunggulan yang membedakannya dari alat sejenis. Salah satunya adalah kemampuan memantau kondisi udara secara real-time melalui sensor-sensor yang terpasang, seperti pengukuran suhu, kelembaban, kandungan gas, dan partikel debu.

Semua data tersebut bisa langsung dipantau melalui aplikasi Blynk di smartphone, sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi udara di dalam ruangan dengan mudah. Manfaat utama dari produk ini dirasakan dalam menjaga kesehatan dan kenyamanan udara di dalam ruangan. Dengan data yang cepat, pengguna dapat segera mengambil langkah yang tepat, misalnya membuka jendela saat udara kurang segar atau menyalakan alat pembersih udara ketika terjadi peningkatan polusi. Teknologi IoT yang digunakan membuat sistem bekerja otomatis dan efisien, sehingga tidak memerlukan pengecekan manual secara terus-menerus.

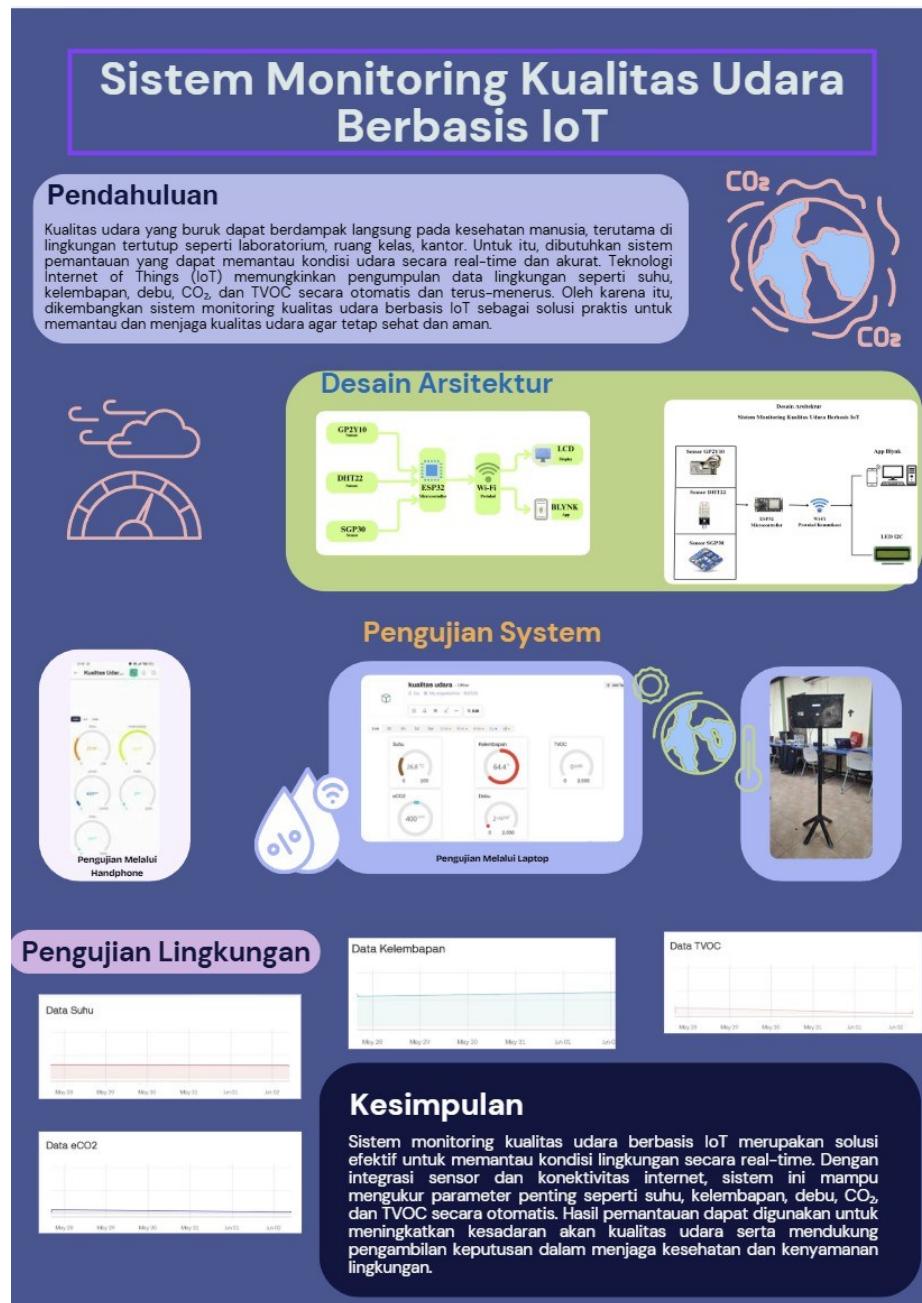
Produk ini cocok digunakan di berbagai ruangan dalam gedung, seperti ruang kelas dan laboratorium kampus. Dengan alat ini, mahasiswa dan dosen bisa memastikan udara di ruangan tetap bersih dan nyaman saat proses belajar mengajar atau praktikum berlangsung. Karena sistem ini dirancang khusus untuk penggunaan di dalam ruangan, monitoring yang dilakukan jadi lebih akurat dan efektif di lingkungan tertutup.

Dari sisi perangkat keras, sistem ini dirancang hemat energi dan tahan lama agar dapat beroperasi secara terus-menerus tanpa gangguan. Selain itu, pemasangannya yang mudah membuat alat ini praktis digunakan oleh siapa saja di dalam ruangan.

6.4. POSTER PRODUK

Poster produk ini dibuat sebagai media visual yang mewakili *Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis IoT*. Tujuannya adalah untuk menyampaikan informasi tentang produk secara singkat, menarik, dan mudah dimengerti, baik oleh orang awam maupun yang memiliki latar belakang teknis. Desain poster disusun dengan cara yang komunikatif agar dapat meningkatkan

kesadaran akan pentingnya memantau kualitas udara di sekitar kita.



Gambar 17 Poster Produk

Gambar utama dalam poster menunjukkan perangkat Sistem Monitoring Kualitas Udara yang telah dirakit dan dipasang di dalam ruangan, tepatnya di lingkungan kelas. Perangkat ini ditampilkan secara nyata agar audiens dapat melihat bentuk fisiknya secara langsung. Di sampingnya, ditampilkan juga tampilan antarmuka monitoring dalam bentuk dashboard digital. Dashboard ini menampilkan data real-time seperti suhu, kelembapan, kadar debu PM2.5, serta nilai gas VOC dan eCO₂. Gambar-gambar ini mendukung pemahaman pengguna mengenai

bagaimana sistem bekerja, sekaligus memperlihatkan hasil pengukuran yang dikumpulkan oleh sensor secara aktual dan langsung.

6.5. PERILISAN PRODUK (OPSIONAL)

Perilisan *sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT* ini dilakukan secara terbatas untuk penggunaan di lingkungan kampus, khususnya pada ruang kelas dan laboratorium tempat mahasiswa melakukan kegiatan belajar dan praktikum. Produk ini dirancang sebagai alat bantu pemantauan kondisi udara secara langsung di dalam ruangan agar pengguna bisa lebih sadar akan kualitas udara yang mereka hirup selama beraktivitas.

Pada tahap awal ini, perangkat diserahkan langsung kepada pengguna awal tanpa disertai panduan tertulis atau dokumentasi instalasi. Oleh karena itu, proses instalasi dan penggunaan masih dibimbing langsung oleh pengembang. Ini dilakukan agar proses pengenalan alat tetap berjalan lancar meskipun belum tersedia dokumentasi pendukung yang lengkap.

Mengingat produk ini masih dalam tahap uji coba, masukan dari pengguna awal menjadi sangat penting. Oleh sebab itu, pengembang secara aktif membuka ruang diskusi dengan pengguna untuk mengetahui pengalaman penggunaan, kendala teknis, dan saran perbaikan. Umpan balik ini akan menjadi dasar pengembangan lebih lanjut sebelum produk dirilis dalam bentuk yang lebih matang dan siap pakai.

Tahap perilisan terbatas ini juga bertujuan untuk melihat sejauh mana alat ini dapat digunakan secara praktis oleh mahasiswa dalam kegiatan sehari-hari. Dengan pengamatan langsung dari proses penggunaan di lapangan, pengembang dapat mengevaluasi efektivitas sistem serta merancang perbaikan sebelum masuk ke tahap distribusi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adafruit Industries. (2023). *Adafruit SGP30 Air Quality Sensor Breakout – VOC and eCO2*. Retrieved from <https://learn.adafruit.com/adafruit-sgp30-gas-tvoc-eco2>
- Arduino. (2024). *ESP32 Development Board Documentation*. Retrieved from <https://docs.arduino.cc/hardware/esp32>
- Espressif Systems. (2022). *ESP32 Technical Reference Manual*. Retrieved from <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/resources>
- World Health Organization. (2021). *Air Quality Guidelines: Global Update 2021*. Retrieved from [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- GP2Y1010AU0F Data Sheet. (2017). Sharp Corporation. Retrieved from https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/gp2y1010au_e.pdf
- DHT22 Datasheet. (2018). Aosong Electronics. Retrieved from <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Digital+humidity+and+temperature+sensor+AM2302.pdf>
- Nugroho, A., & Pratama, R. D. (2020). Real-time air quality monitoring system using IoT and LoRa communication. *Journal of Telecommunication and Control Engineering*, 8(2), 45–52.
- Yuliana, T., & Hadi, A. (2021). Monitoring suhu dan kelembaban menggunakan ESP32 dan sensor DHT22 berbasis IoT. *Seminar Nasional Teknologi dan Sains (SNTS)*, 3(1), 75–80.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide* (ISBN 978-92-4-003422-8). World Health Organization.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- RESET. (2018). *RESET™ Air Standard for Commercial Interiors v2.0*. RESET Standard. <https://reset.build/standards/air/>
- Umweltbundesamt. (2007). *Guide values for indoor air quality*. German Environment Agency (UBA). <https://www.umweltbundesamt.de/en/publications/guide-values-for-indoor-air-quality>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2017). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal environmental conditions for human occupancy*. ASHRAE. <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines>
- United States Environmental Protection Agency. (2023). *Technical assistance document for the*

reporting of daily air quality – the air quality index (AQI). U.S. EPA.
<https://www.epa.gov/air-quality-index>

Health Canada. (2010). *Exposure guidelines for residential indoor air quality.* Government of Canada. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/exposure-guidelines-residential-indoor-air-quality.html>