

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengembangan Produk

Berdasarkan blok diagram serta diagram alir atau flowchart yang telah dirancang pada BAB III, maka sistem monitoring kualitas udara pada bengkel las *indoor* menggunakan metode *real-time* berbasis *internet of things* (IoT). Pada BAB IV peneliti melakukan pengujian serta analisa terkait unit atau modul supaya sesuai hasil perancangan dan implementasi. Perancangan perangkat diimplementasikan pada instalasi dan konfigurasi komponen. Setelahnya dilakukan pengujian tiap sub-sistem dan analisa sehingga bisa memperbaiki perancangan sistem yang baru, pengujian dilakukan secara fungsional.

4.2. Kelayakan Produk (Teoritik dan Empiris)

4.2.1. Hasil Pengujian Modul Gas MQ-7

Hasil Pengujian modul gas MQ-7 dilakukan menggunakan Carbon Monoxide Meter AS8700A untuk mendeteksi nilai gas co. Dalam pengujian modul gas MQ-7 dilakukan pengukuran gas sebanyak delapan kali dengan jarak pengukuran ketika proses pengelasan sejauh 50 cm selama 40 menit dengan nilai terbaca setiap 5 menit pada layar LCD maupun Ubidots, dan *monitoring* pada bengkel las *indoor* dilakukan ketika terjadi proses pengelasan maupun ketika tidak terjadi proses pengelasan. Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian sub-sistem modul gas MQ-7.

Tabel 4. 1 Pengujian Sub-sistem Modul Gas MQ-7

Pengujian ke-	Modul Gas CO MQ-7	Carbon Monoxide Meter AS8700A	Error
1.	15.82 PPM	17 PPM	0.069%
2.	13.59 PPM	21 PPM	0.352%,
3.	7.38 PPM	15 PPM	0.508%
4.	7.63 PPM	24 PPM	0.682%
5.	5.83 PPM	9 PPM	0.352%
6	0.68 PPM	11 PPM	0.938%

Pengujian ke-	Modul Gas CO MQ-7	Carbon Monoxide Meter AS8700A	Error
7.	2.88 PPM	13 PPM	0.778%
8.	0.78 PPM	7 PPM	0.888%

4.2.2. Hasil Pengujian Modul Suhu DHT22

Hasil pengujian modul suhu DHT22 dilakukan menggunakan Hygrometer HTC-1 untuk membaca nilai suhu. Dalam pengujian modul gas DHT22 dilakukan pengukuran suhu sebanyak delapan kali dengan jarak pengukuran ketika proses pengelasan sejauh 50 cm selama 40 menit dengan nilai terbaca setiap 5 menit pada layar LCD maupun Ubidots dan *monitoring* pada bengkel las *indoor* dilakukan ketika terjadi proses pengelasan maupun ketika tidak terjadi proses pengelasan. Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian sub-sistem modul suhu DHT22.

Tabel 4. 2 Pengujian Sub-sistem Modul Suhu DHT22

Pengujian ke-	Modul Suhu DHT22	Thermohygrometer	Error
1.	30.2	30.6	0.013%
2.	30.3	30.7	0.013%
3.	31.3	31.7	0.012%
4.	31.0	31.6	0.018%
5.	32.6	33.1	0.015%,
6.	32.8	33.5	0.020%,
7.	32.9	33.3	0.012%,
8.	32.3	32.6	0.009%

4.2.3. Hasil Pengujian Modul *Optical Dust* GP2Y1010AU0F

Hasil pengujian modul *optical dust* GP2Y1010AU0F dilakukan menggunakan PM2.5 Meter SW-825 untuk mengukur nilai debu atau partikel. Dalam pengujian modul *optical dust* GP2Y1010AU0F dilakukan pengukuran debu sebanyak delapan kali dengan jarak pengukuran ketika proses pengelasan sejauh 50 cm selama 40 menit dengan nilai terbaca setiap 5 menit pada layar

LCD maupun Ubidots dan *monitoring* pada bengkel las *indoor* dilakukan ketika terjadi proses pengelasan maupun ketika tidak terjadi proses pengelasan. Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian sub-sistem modul *optical dust* GP2Y1010AU0F.

Tabel 4. 3 Pengujian Sub-sistem Modul *Optical Dust* GP2Y1010AU0F

Pengujian ke-	Modul <i>Optical Dust</i> GP2Y1010AU0F	PM2.5 Meter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Error
1.	30.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.331%
2.	53.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.217%
3.	52.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.191%
4.	114.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.135%
5.	68.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.106%
6.	78.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.084%
7.	106.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	122 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.129%
8.	148.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.434%

4.2.4. Hasil Pengujian Sumber Tegangan

Hasil pengujian sumber tegangan dilakukan menggunakan Multimeter Digital DT-9205A untuk mengukur nilai tegangan masukan (*input*) yang dibutuhkan pada PSU 12V dan ESP32, dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4. 4 Pengujian Sub-sistem Sumber Tegangan

Pengujian	Hasil Pengukuran (V)	Tampilan
PLN 220V	208V	
PSU 12V	12.08V	

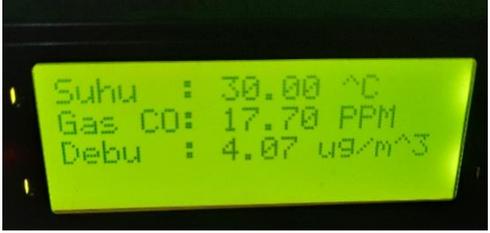
Pengujian	Hasil Pengukuran (V)	Tampilan
ESP32 5V	5.05V	

4.2.5. Hasil Pengujian LCD

Hasil pengujian LCD dilakukan untuk mengetahui fungsi layar LCD mampu berjalan dengan benar untuk menampilkan nilai gas co, suhu, dan debu. Pada layar LCD menampilkan data hasil pengukuran tiap modul yang ditampilkan dalam bentuk teks dan melakukan *monitoring* secara terus-menerus setiap menit pada bengkel las *indoor* selama 40 menit proses pengujian. Pada layar LCD menampilkan nilai pembacaan pengukuran gas CO, suhu, dan debu ketika terjadi proses pengelasan maupun saat sedang tidak terjadi proses pengelasan. Layar LCD menampilkan tampilan nilai pengukuran maupun tampilan berupa teks peringatan jika nilai yang terbaca pada tiap modul telah melebihi nilai ambang batas parameter kualitas udara, seperti “Gas CO Mencapai Max” dan “Suhu Mencapai Max”. Pada Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian sub-sistem tampilan data pada layar LCD.

Tabel 4. 5 Pengujian Sub-sistem Menampilkan Data Pada Layar LCD

Pengujian	Kriteria Pengujian	Tampilan LCD
Tampilan Keseluruhan	Berhasil Tampil	

Penguujian	Kriteria Penguujian	Tampilan LCD
Monitoring Gas CO	Berhasil Menampilkan Data Gas CO	
Gas CO Max	Berhasil Menampilkan teks "Gas CO Mencapai Max"	
Monitoring Suhu	Berhasil Menampilkan Data Suhu	
Suhu Max	Berhasil Menampilkan teks "Suhu Mencapai Max"	
Monitoring Debu	Berhasil Menampilkan Data Debu	
Debu Max	Berhasil Menampilkan teks "Debu Mencapai Max"	

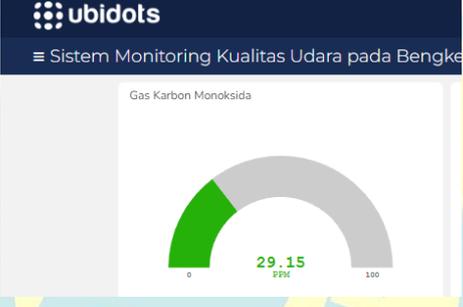
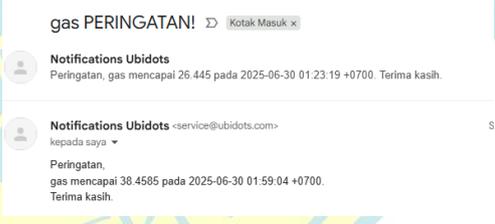
4.2.6. Hasil Pengujian Platform Ubidots

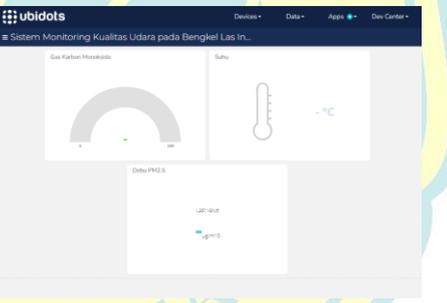
Hasil pengujian platform Ubidots dilakukan untuk mengetahui fungsi dashboard Ubidots mampu berjalan dengan benar untuk menampilkan nilai gas co, suhu, dan debu. Pada *dashboard* Ubidots menampilkan data hasil pengukuran tiap modul yang ditampilkan dalam bentuk setiap 5 menit dan melakukan *monitoring* selama 40 menit proses pengujian pada bengkel las *indoor*, kemudian sebelum melakukan *monitoring* pastikan terlebih dahulu jika jaringan internet sudah aktif dan *smartphone* pengguna telah terintegrasi dengan platform Ubidots. Pada layar tampilan atau *dashboard* Ubidots menampilkan nilai pembacaan pengukuran gas CO, suhu, dan debu ketika terjadi proses pengelasan maupun saat sedang tidak terjadi proses pengelasan. Tampilan pada *dashboard* Ubidots menampilkan tampilan nilai pengukuran maupun notifikasi peringatan jika nilai yang terbaca pada tiap modul terus-menerus mengukur nilai pembacaan melebihi nilai ambang batas parameter kualitas udara selama 1 menit maka platform Ubidots akan menampilkan notifikasi kepada E-mail pengguna seperti “suhu PERINGATAN”.

Jika terjadi kendala ditengah proses *monitoring* pada jaringan internet maka pengiriman informasi berupa data nilai tiap modul yang ditampilkan pada *dashboard* Ubidots akan terhenti sehingga untuk nilai pada gas co, suhu, dan debu pada hasil pengukuran berikutnya tidak akan ditampilkan sebagai pembacaan terbaru dan notifikasi tidak akan dikirimkan jika terjadi kendala internet. Kemudian jika sejak awal jaringan internet tidak terhubung maka tampilan warna sebagai indikator adanya pembacaan terbaru yang dilakukan setiap 5 menit pada *dashboard* Ubidots tidak akan muncul dengan tampilan warna yang membaca informasi pembacaan data modul.

Pada Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian sub-sistem tampilan *dashboard* pada halaman Ubidots.

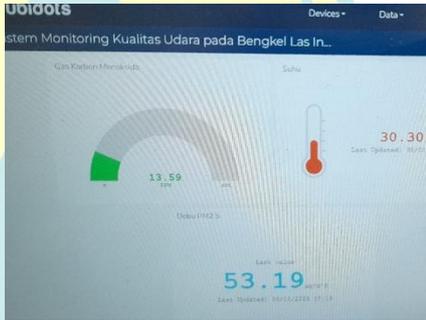
Tabel 4. 6 Pengujian Sub-sistem Menampilkan Data *Dashboard* Ubidots

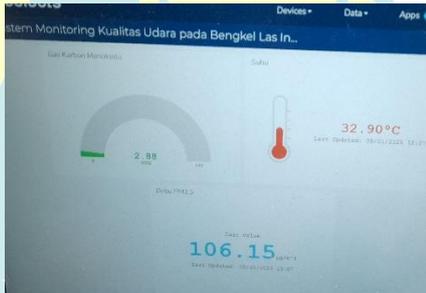
Pengujian	Kriteria Pengujian	Tampilan Ubidots
Tampilan Keseluruhan	Berhasil Tampil	
Monitoring Gas CO	Berhasil Tampil Data Gas CO	
Gas CO Max	Berhasil Tampil Notifikasi "PERINGATAN"	
Monitoring Suhu	Berhasil Tampil Data Suhu	

Pengujian	Kriteria Pengujian	Tampilan Ubidots
Suhu Max	Berhasilkan Tampil Notifikasi “PERINGATAN”	
Monitoring Debu	Berhasil Tampil Data Debu	
Debu Max	Berhasilkan Tampil Notifikasi “PERINGATAN”	
Tidak Terhubung Dengan Internet	Tidak Terdapat Indikator Warna	
Monitoring Bengkel Las Indoor	Berhasil Menampilkan Data	

Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian sub-sistem tampilan *dashboard* pada halaman Ubidots.

Tabel 4. 7 Pengujian *Dashboard* Sistem Monitoring

Modul MQ-7	Modul DHT22	Modul Optical Dust GP2Y1010AU0F	Tampilan IoT
15.82	30.2	38.08	
13.59	30.3	53.19	
7.38	31.3	52.53	
7.63	31.0	114.95	

Modul MQ-7	Modul DHT22	Modul Optical Dust GP2Y1010AU0F	Tampilan IoT
5.83	32.6	68.80	
0.68	32.8	78.76	
2.88	32.9	106.15	
0.76	32.3	148.48	

4.3. Efektifitas Produk (Uji Coba)

Efektifitas produk uji dengan mengamati secara langsung proses *monitoring* terhadap *output* sistem ketika sedang digunakan untuk melakukan pemantauan pada bengkel las *indoor*. Sistem dirancang untuk memberikan informasi dalam bentuk tampilan teks berupa Gas CO, Suhu, Debu pada layar LCD secara *real-time* dan tampilan indikator warna pada dashboard Ubidots sebagai informasi

terkait nilai hasil pengukuran terbaru yang berhasil terbaca oleh modul atau perangkat.

Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemantauan kualitas udara pada bengkel las *indoor* dengan benar. Mikrokontroler ESP32 DevKit V1 sebagai pengendali utama mampu melakukan komunikasi dengan baik antar modul melalui kode program yang ditentukan menggunakan Arduino IDE dan mampu menjalankan fitur *WiFi* sebagai fokus utama dalam penelitian berbasis *internet of things* (IoT). Namun masih terdapat kekurangan dalam pengujian data, diantaranya nilai pengukuran modul MQ-7 yang terbaca masih bisa untuk mendeteksi gas karbon monoksida namun akurasinya belum sepenuhnya sesuai ketika dibandingkan dengan instrumen penelitian Carbon Monoxide Meter, serta tampilan layar LCD yang terkadang mengalami kendala sebagai penampil data meskipun layar menampilkan data hasil pengukuran modul namun untuk mengetahui tampilan pembacaan harus diperhatikan melalui sudut tertentu.

Dengan demikian sistem *monitoring* kualitas udara pada bengkel las *indoor* menggunakan metode *real-time* berbasis *internet of things* (IoT) efektif dalam melakukan *monitoring* dalam meningkatkan kewaspadaan terkait kualitas udara pada bengkel las *indoor* sebagaimana tujuan penelitian.

4.4. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap masing-masing subsistem dan sistem secara keseluruhan, diperoleh bahwa seluruh modul dapat bekerja sesuai rancangan yang dibutuhkan.

Pembahasan mengenai hasil pengujian sub-sistem ditunjukkan pada Tabel 4.1 s.d. Tabel 4.3. Pada Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian pertama modul gas MQ-7 mendapatkan nilai sebesar 15.82 PPM dan nilai yang diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 17 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.069%, pengujian kedua modul gas mendapatkan nilai 13.59 PPM dan nilai yang diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 21 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.352%, pengujian ketiga modul gas mendapatkan nilai 7.38 PPM dan nilai yang

diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 15 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.508%, pengujian keempat modul gas mendapatkan nilai 7.63 PPM dan nilai yang diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 24 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.682%, pengujian kelima modul gas mendapatkan nilai 5.83 PPM dan nilai yang diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 9 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.352%, pengujian keenam modul gas mendapatkan nilai 0.68 PPM dan nilai yang diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 11 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.938%, pengujian ketujuh modul gas mendapatkan nilai 2.88 PPM dan nilai yang diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 13 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.778%, pengujian kedelapan modul gas mendapatkan nilai 0.78 PPM dan nilai yang diketahui pada pengukuran Carbon Monoxide Meter adalah 7 PPM sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.888%. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa pada hasil pengukuran gas co menggunakan modul gas MQ-7 membaca hasil data nilai gas co tidak melebihi nilai ambang batas parameter kualitas udara, menghasilkan nilai data gas dalam kategori baik namun pembacaan data gas co meter menampilkan data nilai tidak melebihi nilai ambang batas parameter kualitas udara pada proses pengelasan, dapat disimpulkan bahwa pembacaan modul gas masih bisa dilakukan namun belum sempurna. Pada Persamaan 4.1 menunjukkan rumus menghitung persentase error pada pendeteksian nilai gas CO menggunakan alat instrumen penelitian Carbon Monoxide Meter untuk mengetahui kesalahan atau error yang terjadi ketika penelitian berlangsung.

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{\text{Nilai Pengujian Modul Gas CO} - \text{Nilai CO Meter}}{\text{Nilai CO Meter}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(4.1)$$

Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian pertama modul suhu DHT22 mendapatkan nilai 30.2°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah 30.6°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.013%, pengujian kedua modul suhu mendapatkan nilai 30.3°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah

30.7°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.013%, pengujian ketiga modul suhu mendapatkan nilai 31.3°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah 31.7°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.012%, pengujian keempat modul suhu mendapatkan nilai 31.0°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah 31.6°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.018%, pengujian kelima modul suhu mendapatkan nilai 32.6°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah 33.1°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.015%, pengujian keenam modul suhu mendapatkan nilai 32.8°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah 33.5°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.020%, pengujian ketujuh modul suhu mendapatkan nilai 32.9°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah 33.3°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.012%, pengujian kedelapan modul suhu mendapatkan nilai 32.3°C dan nilai yang diketahui pada pengukuran Thermohygrometer adalah 32.6°C sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.009%. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa pada hasil pengukuran suhu menggunakan modul suhu membaca hasil data nilai suhu melebihi nilai ambang batas parameter kualitas udara, menghasilkan nilai data dalam kategori bahaya karena melebihi nilai suhu maksimal yang bisa diterima pada kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukannya evaluasi terhadap kebersihan ruang kerja pengelasan. Pada Persamaan 4.2 menunjukkan rumus menghitung persentase error pada pembacaan nilai suhu menggunakan alat instrumen penelitian Thermohygrometer untuk mengetahui kesalahan atau error yang terjadi ketika penelitian berlangsung.

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{\text{Nilai Pengujian Modul Suhu} - \text{Nilai Thermohygrometer}}{\text{Nilai Thermohygrometer}} \right| \times 100\% \dots (4.2)$$

Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian pertama modul *Optical Dust* GP2Y1010AU0F mendapatkan nilai 30.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.331%, pengujian kedua modul debu

mendapatkan nilai 53.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.219%, pengujian ketiga modul debu mendapatkan nilai 114.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.135%, pengujian keempat modul debu mendapatkan nilai 68.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.106%, pengujian kelima modul debu mendapatkan nilai 107.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.004%, pengujian keenam modul debu mendapatkan nilai 124.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 146 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.148%, pengujian ketujuh modul debu mendapatkan nilai 145.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 155 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.062%, pengujian kedelapan modul debu mendapatkan nilai 103.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan nilai yang diketahui pada pengukuran PM2.5 Meter SW-825 adalah 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sehingga dapat diketahui error yang dihasilkan sebesar 0.009%. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa pada hasil pengukuran debu menggunakan modul *optical dust* membaca hasil data nilai debu melebihi nilai ambang batas parameter kualitas udara, menghasilkan nilai data dalam kategori membahayakan karena melebihi nilai debu maksimal yang bisa diterima pada kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukannya evaluasi terhadap kebersihan ruang kerja pengelasan. Pada Persamaan 4.3 menunjukkan rumus menghitung persentase error pada pengukuran nilai debu menggunakan alat instrumen penelitian PM2.5 Meter untuk mengetahui kesalahan atau error yang terjadi ketika penelitian berlangsung

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{\text{Nilai Pengujian Sensor} - \text{Nilai PM2.5 Meter}}{\text{Nilai PM2.5 Meter}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Modul gas mampu mendeteksi gas karbon monoksida, lalu modul suhu mampu membaca suhu, dan modul *optical dust* mampu mengukur debu, dengan

nilai data yang terukur antar modul diproses oleh ESP32 untuk mengatur tampilan data nilai hasil pengukuran modul melalui layar LCD secara *real-time* dan *monitoring* berbasis *internet of thing* (IoT) melalui dashboard Ubidots, meskipun masih terdapat error yang terjadi saat proses *monitoring*. Pada Tabel 4.8 menunjukkan pembahasan terkait hasil penelitian pengembangan yang dilakukan oleh peneliti terhadap hasil penelitian relevan terdahulu yang telah dilaksanakan.

Tabel 4. 8 Hasil Pembahasan Kelebihan Dan Kekurangan Terhadap Penelitian

No.	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Kelebihan Penelitian Dibandingkan Penelitian Relevan Sebelumnya	Kekurangan Penelitian Dibandingkan Penelitian Relevan Sebelumnya
1.	Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Bengkel Las Indoor Menggunakan Metode Real-Time Berbasis Internet of Things (IoT)	<i>Research and Development</i> (R&D) dengan model pengembangan V-Model	<i>Monitoring real-time</i> via LCD dan web Ubidots. Menggunakan ESP32, Modul MQ-7, Modul DHT22, dan Optical Dust GP2Y101AU0F. Akurasi tinggi; error rendah untuk rerata CO 0.57%; rerata suhu 0.01%; rerata debu 0.20%.	Tidak berfokus pada menghitung rata-rata periodik kualitas udara. Tidak membahas masalah jaringan internet.
2.	Monitor Kualitas Udara Berbasis Web Menggunakan Raspberry Pi dan Modul Wemos D1 (Tahir dkk., 2020)	Metode Eksperimen dan Prototyping	Monitoring empat paramter (gas CO, gas CO2, suhu dan kelembaban). Komunikasi real-time via WebSocket.io Menggunakan ESP32 dan Multiplexer.	Menggunakan modul tambahan untuk fitur WiFi. Tidak menggunakan alat pendukung seperti CO dan CO2 Meter.

No.	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Kelebihan Penelitian Dibandingkan Penelitian Relevan Sebelumnya	Kekurangan Penelitian Dibandingkan Penelitian Relevan Sebelumnya
3.	Perancangan dan Implementasi Alat Pengukur Tingkat Polusi Udara Karbon Monoksida dan Debu Berbasis Website Menggunakan Raspberry Pi (Samsinar dkk., 2022)	Eksperimen Berbasis Implementasi Alat	Tampilan data via <i>website</i> menggunakan Raspberry Pi. Monitoring gas CO dan debu pada <i>outdoor</i> dengan pengujian waktu berbeda.	Kekurangan alat pendukung Dust Meter, hanya menggunakan CO Meter. Membutuhkan Modul ADC tambahan karena Raspberry Pi tidak memiliki pin analog bawaan.
4.	Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Pengendali Kualitas Udara Pada Aplikasi Welding Habitat Proses Welding Pipeline Sistem Dengan Data Logger (Daerobi dkk., 2023)	Rekayasa Sistem atau Eksperimen	Fokus pada keamanan pekerja las saat proses pengelasan. Kontrol otomatis via relay dan exhaust fan. Menggunakan 3 modul yaitu Air Quality Sensor, Modul MQ-7, Modul MQ-135. Berbasis standar ISPU.	Tidak dilengkapi sistem berbasis Web atau IoT. Tidak menampilkan data secara visual jarak jauh. Tabel hasil penelitian kurang spesifik.

Dengan penerapan pendekatan model pengembangan V-Model, seluruh proses perancangan dilakukan secara sistematis dan terstruktur, diawali dengan analisis kebutuhan, perancangan awal hingga detail, implementasi, dan pengujian

unit yang terintegrasi. Setiap tahap memiliki validasi terhadap hasil dari tahapan sebelumnya, dan menjadi keunggulan metodologi V-Model dalam menghasilkan sistem yang siap diuji secara fungsional.

