

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA

5.1 Pengukuran dan Pengujian

Untuk memastikan sistem monitoring kedalaman dan suhu air berbasis kapal remote control berfungsi sesuai dengan tujuan yang telah dirancang, dilakukan serangkaian pengukuran dan pengujian terhadap seluruh komponen sistem. Pengujian ini mencakup sensor JSN-SR04T, sensor DS18B20, komunikasi LoRa, modul Global Positioning System (GPS), serta jangkauan kendali remote control. Selain itu, dilakukan pengujian integrasi sistem untuk memastikan data hasil pengukuran dapat dikirim dan diterima secara real-time oleh receiver.

Setiap pengujian dirancang untuk mengevaluasi kinerja, akurasi, dan keandalan sistem dalam melakukan monitoring kondisi perairan. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan implementasi alat serta mengidentifikasi faktor – faktor yang dapat mempengaruhi performa sistem selama proses pengoperasian.

5.1.1 Tujuan dan Parameter Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem monitoring kedalaman dan suhu air dapat bekerja secara menyeluruh sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Fokus utama pengujian adalah mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan pengukuran kedalaman dan suhu air, mengirimkan data menggunakan komunikasi LoRa, menampilkan informasi hasil pengukuran pada receiver, serta menentukan posisi pengukuran menggunakan modul GPS. Adapun parameter – parameter yang diuji dalam penelitian ini antara lain:

1. Akurasi sensor JSN-SR04T

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor dalam mengukur kedalaman air dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran manual menggunakan meteran atau alat ukur referensi.

2. Akurasi sensor DS18B20

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor suhu dalam mengukur temperatur pada permukaan air.

3. Keberhasilan komunikasi LoRa

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan data kedalaman, suhu, dan koordinat GPS dapat dikirim dari transmitter dan diterima oleh receiver dengan baik pada berbagai jarak pengujian.

4. Kemampuan GPS dalam memperoleh koordinat lokasi

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul GPS dalam memperoleh dan menampilkan data koordinat latitude dan longitude serta membandingkannya dengan koordinat referensi pada Google Maps.

5. Jangkauan kendali remote control

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jarak maksimum remote control dalam mengendalikan pergerakan kapal secara stabil tanpa kehilangan sinyal.

6. Kinerja sistem monitoring secara real-time

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terintegrasi.

5.1.2 Prosedur dan Lingkungan Pengujian

Pengujian dilakukan pada area perairan yang memungkinkan pengoperasian kapal remote control pada kondisi air jernih dan air keruh. Pengujian sensor dilakukan pada kedua kondisi perairan tersebut untuk mengetahui pengaruh kondisi air terhadap hasil pembacaan sensor. Pengujian komunikasi LoRa dilakukan pada area terbuka untuk meminimalkan hambatan sinyal selama proses pengiriman data antara transmitter dan receiver. Sementara itu, pengujian modul GPS dilakukan pada area terbuka agar modul dapat menerima sinyal satelit secara optimal. Peralatan yang digunakan dalam pengujian meliputi:

1. Kapal RC sebagai media pembawa sistem transmitter.
2. ESP32 sebagai mikrokontroler utama.
3. Sensor JSN-SR04T.
4. Modul GPS NEO-7M.

5. Modul LoRa E220-900T22D.
6. Receiver monitoring.
7. Meteran sebagai alat ukur referensi kedalaman.
8. Digital Thermometer sebagai alat ukur referensi suhu air.
9. Google Maps sebagai referensi koordinat lokasi.

Langkah – langkah pengujian disusun dengan mengacu pada alur kerja sistem yang sebenarnya, dimulai dari proses aktivasi perangkat, pembacaan data oleh sensor, pengiriman data menggunakan komunikasi LoRa, hingga penerimaan dan penampilan data pada receiver. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap kemampuan GPS dalam memperoleh koordinat lokasi serta pengujian jangkauan kendali remote control. Adapun langkah – langkah pengujian dilakukan sebagai berikut:

1. Menyalakan sistem transmitter, receiver, dan remote control.
2. Memastikan sensor, modul GPS, dan LoRa berfungsi dengan baik.
3. Melakukan pengukuran kedalaman air pada beberapa variasi kedalaman di kondisi air jernih dan air keruh.
4. Membandingkan hasil pembacaan sensor kedalaman dengan hasil pengukuran manual menggunakan meteran.
5. Melakukan pengujian komunikasi LoRa pada beberapa variasi jarak antara transmitter dan receiver.
6. Melakukan pengujian kendali remote control dengan mengoperasikan kapal pada berbagai jarak.
7. Melakukan pengujian modul GPS dengan membandingkan koordinat yang diperoleh terhadap koordinat referensi dari Google Maps.
8. Menguji keseluruhan sistem untuk memastikan data kedalaman dan koordinat lokasi dapat ditampilkan secara real-time pada receiver.

Selama proses pengujian, data yang diamati meliputi hasil pembacaan kedalaman, keberhasilan komunikasi LoRa, jangkauan kendali remote control, serta koordinat lokasi yang diperoleh dari modul GPS. Data hasil pengujian kemudian digunakan untuk menganalisis kinerja dan keandalan sistem monitoring yang telah dirancang.

5.1.3 Pengujian Komunikasi LoRa

Pengujian komunikasi LoRa dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil pengukuran yang diperoleh oleh transmitter dapat dikirim dan diterima dengan baik oleh receiver. Pada sistem ini, komunikasi LoRa berfungsi sebagai media transmisi data secara nirkabel yang menghubungkan perangkat transmitter pada kapal remote control dengan perangkat receiver di darat. Data yang dikirim meliputi nilai kedalaman air yang diperoleh dari sensor JSN-SR04T, suhu permukaan yang didapat dari sensor DS18B20, serta koordinat lokasi berupa latitude dan longitude yang diperoleh dari modul GPS.

Pada Tabel 5.1 hasil pengujian diamati berdasarkan keberhasilan penerimaan data pada receiver serta kesesuaian informasi yang ditampilkan dengan data yang dikirim oleh transmitter. Data hasil pengujian komunikasi LoRa selanjutnya digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan pengiriman data monitoring secara real-time pada berbagai kondisi jarak pengujian.

Tabel 5. 1 Pengujian Komunikasi LoRa

Titik	Koordinat	Jarak	Status
1	-7.052857, 110.432610	100 meter	Online
2	-7.052430, 110.432724	150 meter	Online
3	-7.052166, 110.432854	190 meter	Online
4	-7.051997, 110.432938	210 meter	Online
5	-7.051471, 110.433220	270 meter	Online
6	-7.051236, 110.433372	300 meter	Online
7	-7.050953, 110.433601	350 meter	Online
8	-7.050745, 110.433754	400 meter	Online
9	-7.050294, 110.433981	450 meter	Offline
10	-7.050053, 110.434054	478 meter	Offline



Gambar 5. 1 Titik Awal Receiver



Gambar 5. 2 Titik Akhir Online



Gambar 5. 3 Titik Akhir Offline

Pada Gambar 5.1 menunjukkan posisi receiver yang ditempatkan pada lantai 2 bangunan sebagai pusat penerimaan data selama pengujian komunikasi LoRa. Gambar 5.2 menunjukkan posisi transmitter pada jarak maksimum ketika data masih dapat diterima oleh receiver dengan baik (online), sedangkan Gambar 5.3 menunjukkan posisi transmitter ketika data tidak lagi dapat diterima oleh receiver (offline).



Gambar 5. 4 Titik Koordinat Pengujian LoRa

Pada Gambar 5.4 menunjukkan titik – titik pengujian komunikasi LoRa yang dilakukan di sepanjang Jalan Banyu Putih Raya, Tembalang. Receiver ditempatkan pada lantai 2 bangunan sebagai titik tetap penerima data, sedangkan transmitter dibawa menjauhi receiver secara bertahap untuk mengetahui jarak efektif komunikasi. Titik 1 hingga Titik 8 menunjukkan kondisi komunikasi masih berlangsung dengan baik (online), di mana data yang dikirim oleh transmitter masih dapat diterima oleh receiver. Sementara itu, pada Titik 9 dan Titik 10 komunikasi telah terputus (offline), sehingga data tidak lagi diterima oleh receiver. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, diperoleh jarak efektif komunikasi LoRa sebesar 400 meter pada kondisi lingkungan pengujian.

5.1.4 Pengujian Jarak Remote Control

Pengujian jarak remote control dilakukan untuk mengetahui kemampuan remote control dalam mengendalikan pergerakan kapal pada berbagai jarak. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jarak efektif kendali yang masih memungkinkan kapal menerima perintah dengan baik tanpa mengalami kehilangan sinyal. Pada Tabel 5.2 hasil pengujian kemudian digunakan untuk mengetahui batas jangkauan kendali remote control yang dapat digunakan secara optimal selama proses monitoring di perairan.

Tabel 5. 2 Pengujian Remote Control

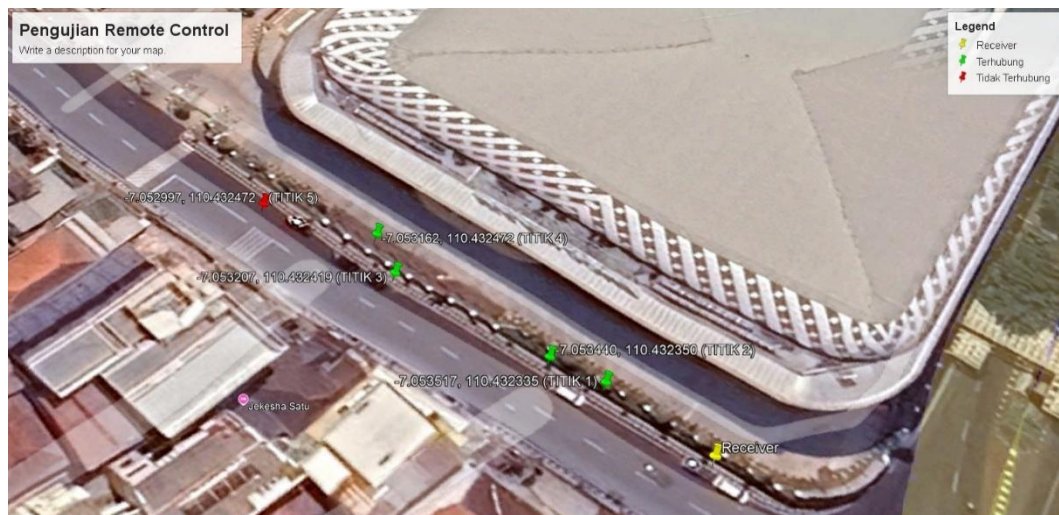
Titik	Koordinat	Jarak	Status
1	-7.053517, 110.432335	20 meter	Terhubung
2	-7.053440, 110.432350	31 meter	Terhubung
3	-7.053207, 110.432419	57 meter	Terhubung
4	-7.053162, 110.432472	64 meter	Terhubung
5	-7.052997, 110.432472	82 meter	Tidak Terhubung



Gambar 5. 5 Lokasi Pengujian

Pada Gambar 5.5 merupakan lokasi pengujian jarak remote control yang dilakukan di sepanjang Jalan Banyu Putih Raya, Tembalang. Gambar 5.6 receiver ditempatkan sejajar sebagai titik tetap penerima data, sedangkan transmitter dibawa menjauhi receiver secara bertahap untuk mengetahui jarak efektif komunikasi. Titik

1 hingga Titik 4 menunjukkan kondisi remote control yang masih nyal. Sementara itu, pada Titik 5 kondisi remote control sudah tidak dapat menjalankan sistem kapal, sehingga sistem tidak dapat berjalan. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, diperoleh jarak efektif sebesar 64 meter pada kondisi lingkungan pengujian.



Gambar 5. 6 Titik Koordinat Pengujian Remote Control

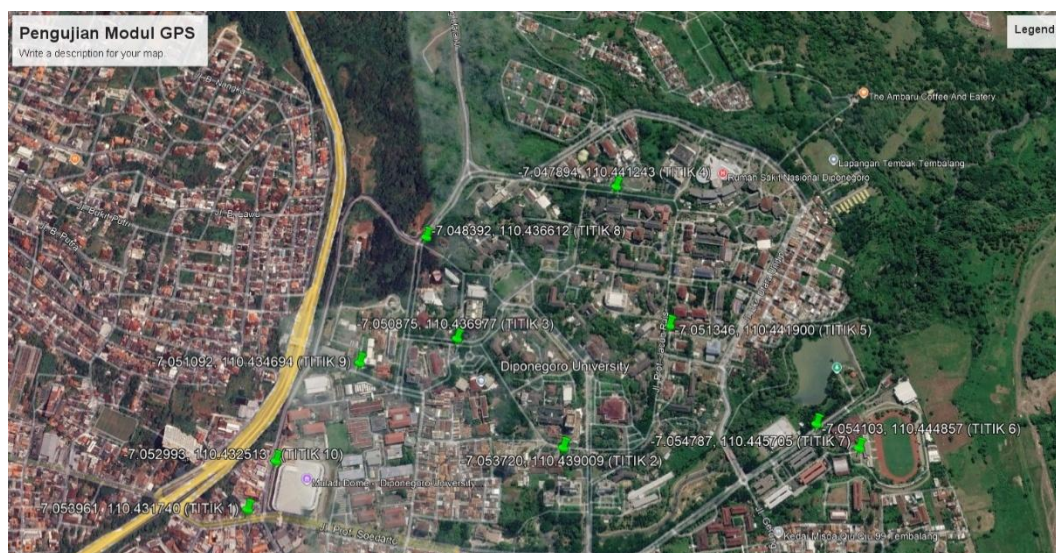
5.1.5 Pengujian Modul Global Positioning System

Pengujian modul Global Positioning System (GPS) dilakukan untuk mengetahui kemampuan modul GPS dalam memperoleh dan menampilkan koordinat lokasi berupa latitude dan longitude. Pengujian dilakukan pada area terbuka agar modul dapat menerima sinyal satelit secara optimal sehingga koordinat yang dihasilkan lebih akurat. Parameter yang diamati dalam pengujian ini meliputi koordinat latitude dan longitude yang diperoleh dari modul GPS serta kesesuaiannya dengan koordinat referensi yang diperoleh dari Google Maps. Pada Tabel 5.3 hasil pengujian digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi posisi yang ditampilkan oleh sistem.

Tabel 5. 3 Pengujian Kesesuaian Koordinat

Titik	Koordinat GPS	Koordinat Maps	Selisih
1	-7.053961, 110.431740	-7.053936, 110.431839	10,7 m
2	-7.053720, 110.439009	-7.053626, 110.438995	13,08 m

3	-7.050875, 110.436977	-7.050842, 110.437103	14,24 m
4	-7.047894, 110.441243	-7.048469, 110.441056	67,07 m
5	-7.051346, 110.441900	-7.051422, 110.441794	13,77 m
6	-7.054103, 110.444857	-7.054858, 110.440351	504,56 m
7	-7.054787, 110.445705	-7.054429, 110.445847	43.30 m
8	-7.048392, 110.436612	-7.048147, 110.436713	29.57 m
9	-7.051092, 110.434694	-7.051140, 110.434768	9.66 m
10	-7.052993, 110.432513	-7.053035, 110.432574	8.07 m

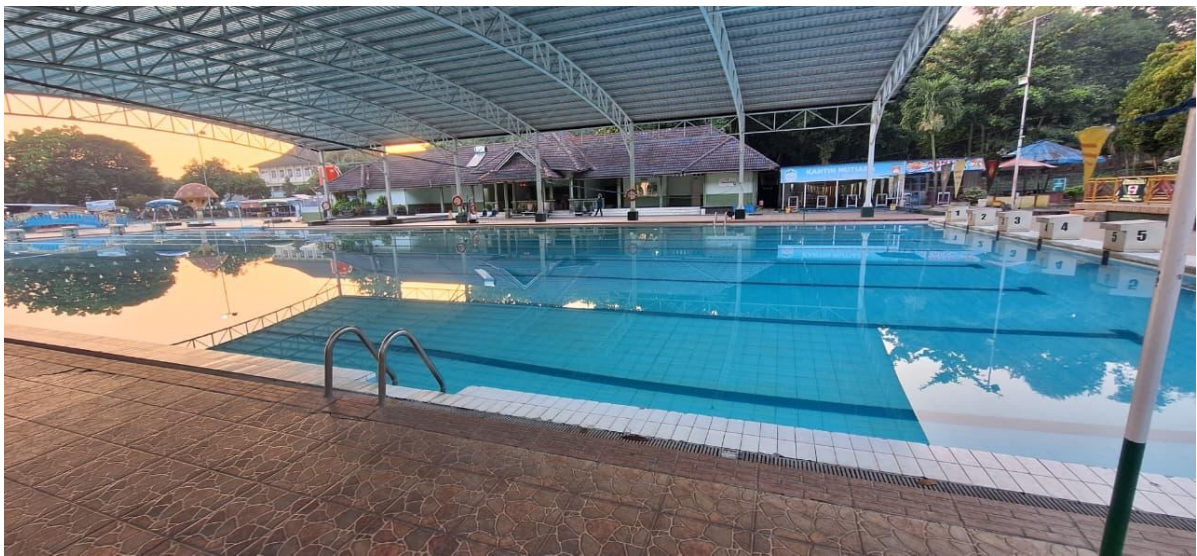


Gambar 5. 7 Titik Koordinat Pengujian Moodul Global Positioning System

Gambar 5.7 menunjukkan sebaran titik koordinat hasil pengujian modul Global Positioning System (GPS) pada 10 titik pengujian di kawasan kampus Universitas Diponegoro. Setiap titik merupakan lokasi pengambilan data yang diperoleh dari pembacaan koordinat latitude dan longitude oleh modul GPS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh titik dapat direkam dan ditampilkan pada peta dengan baik, meskipun terdapat sedikit perbedaan posisi dibandingkan titik referensi akibat pengaruh kondisi penerimaan sinyal satelit. Secara umum, modul GPS mampu memberikan informasi lokasi yang cukup baik sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan posisi pengambilan data selama proses monitoring berlangsung.

5.1.6 Pengujian Sistem Pada Kondisi Air Jernih

Pengujian sistem pada kondisi air jernih dilakukan untuk mengetahui kinerja keseluruhan sistem monitoring dalam kondisi perairan dengan tingkat kekeruhan yang rendah. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor, modul GPS, komunikasi LoRa, dan sistem kendali kapal dapat bekerja dengan baik secara bersamaan. Pada Gambar 5.8, Tabel 5.4, dan Gambar 5.9 merupakan hasil dari pengambilan data yang dilakukan pada 10 titik pengukuran yang tersebar di area Kolam Diponegoro Satu.



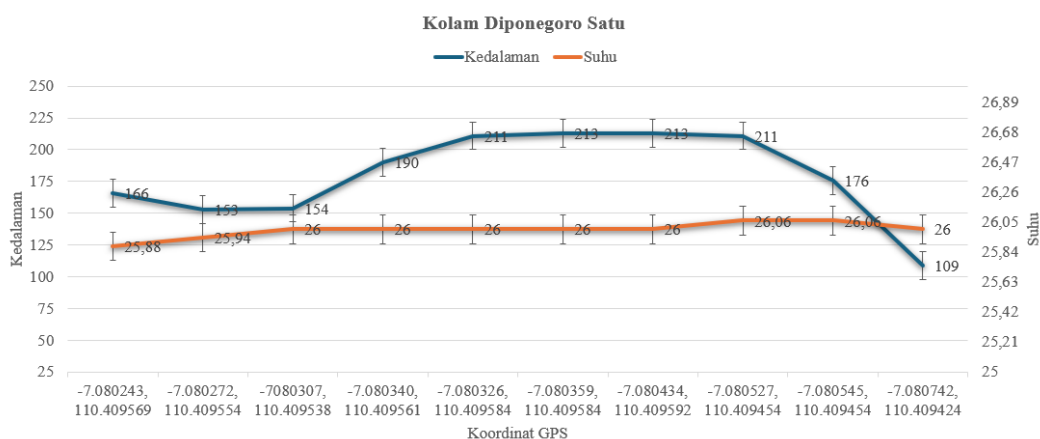
Gambar 5. 8 Sebaran Titik Pengukuran Pada Kolam Diponegoro Satu

Gambar 5.8 merupakan titik koordinat latitude dan longitude pada 10 titik pengambilan data pada Kolam Diponegoro Satu. Terlihat pada gambar ada beberapa titik yang tidak sejajar dengan lintasan kolam. Hal ini terjadi karena pada bagian kolam yang tertutup atap akan membaca koordinat yang sejajar dengan posisi kapal saat itu. Sehingga pembacaan koordinat menjadi tidak stabil, namun masih dapat mengambil koordinat latitude dan longitude. Terdapat 3 bagian pada kolam karena memiliki kedalaman yang berbeda pada setiap bagian.

Tabel 5. 4 Kolam Diponegoro Satu

Titik	Bagian	Waktu	Koordinat	Aktual Kolam	Aktual Suhu	Pengukuran JSN	Pengukuran DS	Error JSN	Akurasi JSN	Error DS	Akurasi DS
1	A	06.27.49	-7.080243, 110.409569	150 cm	26,2°C	166 cm	25,88°C	10,67%	89,33%	1,22%	98,78%
2		06.28.49	-7.080272, 110.409554		26,2°C	153 cm	25,94°C	2%	98,00%	0,99%	99,01%
3		06.29.37	-7.080307, 110.409538		26,2°C	154 cm	26°C	2,67%	97,33%	0,76%	99,24%
4		06.30.31	-7.080340, 110.409561		26,3°C	190 cm	26°C	26,67%	73,33%	1,14%	98,86%
5	B	06.31.09	-7.080326, 110.409584	250 cm	26,3°C	211 cm	26°C	15,60%	84,40%	1,14%	98,86%
6		06.33.19	-7.080359, 110.409584		26,3°C	213 cm	26°C	14,80%	85,20%	1,14%	98,86%
7		06.34.13	-7.080434, 110.409592		26,3°C	213 cm	26°C	14,80%	85,20%	1,14%	98,86%
8		06.37.06	-7.080527, 110.409454		26,3°C	211 cm	26,06°C	15,60%	84,40%	0,91%	99,09%
9	C	06.38.00	-7.080545, 110.409454	150 cm	26,3°C	176 cm	26,06°C	17,33%	82,67%	0,91%	99,09%
10		06.38.54	-7.080667, 110.409508		26,3°C	109 cm	26,06°C	27,33%	72,67%	0,91%	99,09%
Rata – rata								14,75%	85,25%	1,03%	98,97%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 5.4, terlihat bahwa persentase error sensor JSN-SR04T cenderung meningkat pada titik pengukuran yang memiliki kondisi dasar kolam dan posisi pengukuran yang berbeda. Pada Bagian A diperoleh rata-rata error sebesar 10,45%, sedangkan pada Bagian B meningkat menjadi 15,20%. Pada Bagian C, rata-rata error mencapai 22,33%. Meskipun Bagian A dan Bagian C memiliki kedalaman aktual yang sama, yaitu 150 cm, nilai error pada Bagian C lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran tidak hanya dipengaruhi oleh kedalaman air, tetapi juga oleh posisi sensor terhadap permukaan air.



Gambar 5. 9 Grafik Pengujian Pada Kolam Diponegoro Satu

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9 terlihat bahwa kedalaman air meningkat dari Titik 1 hingga Titik 7, kemudian menurun kembali pada Titik 8 hingga Titik 10. Hal tersebut menunjukkan bahwa lintasan pengukuran melewati bagian kolam yang lebih dalam di area tengah kolam. Hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 menunjukkan nilai pada rentang 25,88°C hingga 26,06°C. Sementara itu, pengukuran menggunakan Digital Thermometer sebagai alat referensi menunjukkan rentang suhu 26,2°C hingga 26,3°C. Selisih pengukuran yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi

yang baik dalam mengukur suhu air dan layak digunakan pada sistem monitoring yang dirancang.

Pada Gambar 5.10, Tabel 5.5, dan Gambar 5.11 merupakan hasil pengambilan data yang dilakukan pada 10 titik pengukuran yang tersebar di area Kolam Diponegoro Dua. Gambar 5.10 merupakan titik koordinat latitude dan longitude pada 10 titik pengambilan data pada Kolam Diponegoro Dua. Terlihat pada gambar titik koordinat dapat terbaca dengan sangat baik, hal ini dikarenakan kondisi area yang terbuka sehingga memudahkan satelit untuk membaca langsung titik koordinat posisi kapal.

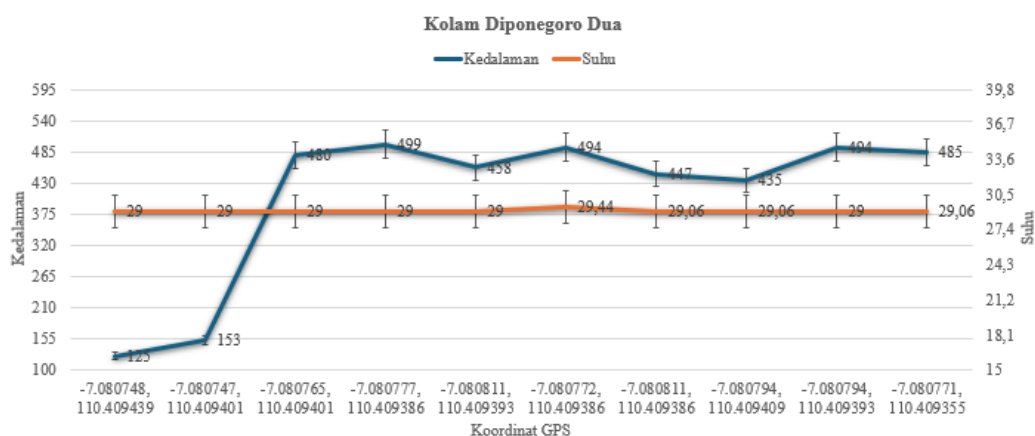


Gambar 5. 10 Sebaran Titik Pengukuran Pada Kolam Diponegoro Dua

Tabel 5. 5 Kolam Diponegoro Dua

Titik	Waktu	Koordinat	Aktual Kolam	Aktual Suhu	Pengukuran JSN	Pengukuran DS	Error JSN	Akurasi JSN	Error DS	Akurasi DS
1	06.48.22	-7.080748, 110.409439	500 cm	29,4°C	125 cm	29°C	75%	25,00%	1,36%	98,64%
2	06.49.32	-7.080747, 110.409401		29,4°C	153 cm	29°C	69%	31,00%	1,36%	98,64%
3	06.50.15	-7.080765, 110.409401		29,4°C	480 cm	29°C	4%	96,00%	1,36%	98,64%
4	06.51.04	-7.080777, 110.409386		29,4°C	499 cm	29°C	0%	100,00%	1,36%	98,64%
5	06.53.20	-7.080811, 110.409393		29,5°C	458 cm	29°C	8%	92,00%	1,69%	98,31%
6	06.53.37	-7.080772, 110.409386		29,5°C	494 cm	29,44°C	1%	99,00%	0,20%	99,80%
7	06.54.19	-7.080811, 110.409386		29,5°C	447 cm	29,06°C	11%	89,00%	1,49%	98,51%
8	06.55.35	-7.080794, 110.409409		29,5°C	435 cm	29,06°C	13%	87,00%	1,69%	98,31%
9	06.56.08	-7.080794, 110.409393		29,5°C	494 cm	29°C	1%	99,00%	1,69%	98,31%
10	06.58.18	-7.080771, 110.409355		29,5°C	485 cm	29,06°C	3%	97,00%	1,49%	98,51%
Rata – rata							19%	81,50%	1,37%	98,63%

Pada Tabel 5.5 hasil pembacaan sensor JSN-SR04T menunjukkan variasi nilai pengukuran yang cukup besar, yaitu berkisar antara 125 cm hingga 499 cm pada kedalaman aktual 500 cm. Rata-rata persentase error yang diperoleh sebesar 19% dengan akurasi rata-rata mencapai 81,50%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor masih mampu melakukan pengukuran hingga mendekati batas maksimum spesifikasinya, namun ketelitian pembacaan cenderung menurun seiring bertambahnya kedalaman pengukuran. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh pelemahan sinyal pantul gelombang ultrasonik akibat jarak tempuh yang semakin jauh, sehingga hasil pengukuran menjadi lebih bervariasi dibandingkan pada kedalaman yang lebih dangkal.



Gambar 5. 11 Grafik Pengujian Pada Kolam Diponegoro Dua

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 kedalaman air mengalami peningkatan dari Titik 1 hingga Titik 4, kemudian menurun pada Titik 5 hingga Titik 7, dan kembali meningkat pada Titik 8. Pada Titik 9 sensor tidak berhasil mendeteksi kedalaman air sehingga ditampilkan sebagai "Tidak Terdeteksi". Namun, pada Titik 10 sensor kembali mampu mendeteksi kedalaman air sebesar 485 cm. Hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 berada pada rentang 29°C hingga 29,06°C, sedangkan Digital Thermometer menunjukkan suhu sebesar 29,5°C. Perbedaan hasil pengukuran yang relatif kecil menunjukkan bahwa

sensor DS18B20 mampu mengukur suhu air dengan baik pada Kolam Diponegoro Dua.

Pada Gambar 5.12, Tabel 5.6, dan Gambar 5.13 merupakan hasil pengambilan data dilakukan pada 10 titik pengukuran yang tersebar di area Kolam Kos. Gambar 5.12 merupakan titik koordinat latitude dan longitude pada 10 titik pengambilan data pada Kolam Kos. Terlihat pada gambar titik koordinat yang berdekatan, hal ini dikarenakan kondisi kolam yang relatif kecil. Sehingga pengambilan titik koordinat tidak terlalu berjauhan, namun satelit masih dapat mengambil koordinat posisi kapal.

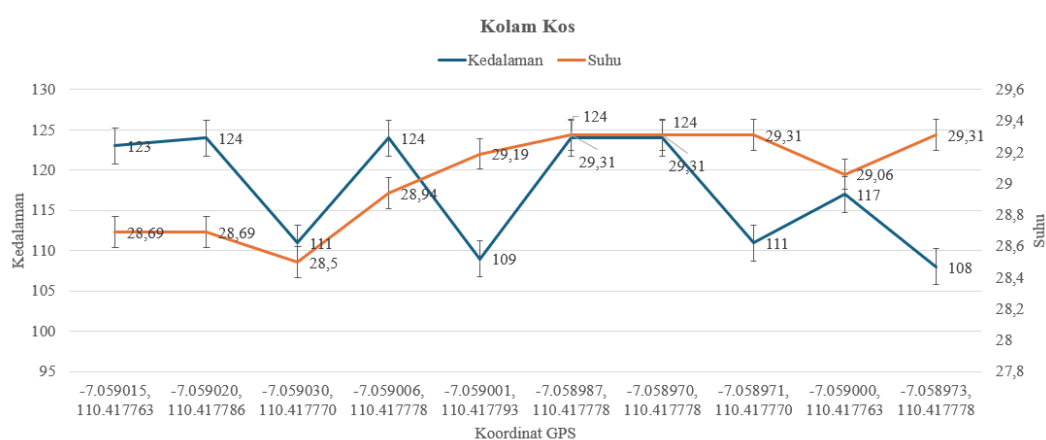


Gambar 5. 12 Sebaran Titik Pengukuran Pada Kolam Kos

Tabel 5. 6 Kolam Kos

Titik	Waktu	Koordinat	Aktual Kolam	Aktual Suhu	Pengukuran JSN	Pengukuran DS	Error JSN	Akurasi JSN	Error DS	Akurasi DS
1	12.04.27	-7.059015, 110.417763	110 cm	28,1°C	123 cm	28,69 °C	11,82%	88,18%	2%	98,00%
2	12.05.32	-7.059020, 110.417786		28,1°C	124 cm	28,69°C	12,73%	87,27%	2%	98,00%
3	12.07.20	-7.059030, 110.417770		28,6°C	111 cm	28,5°C	0,91%	99,09%	0%	100,00%
4	12.08.03	-7.059006, 110.417778		28,6°C	124 cm	28,94°C	12,73%	87,27%	1%	99,00%
5	12.08.41	-7.059001, 110.417793		28,5°C	109 cm	29,19°C	0,91%	99,09%	2%	98,00%
6	12.09.19	-7.058987, 110.417778		28,5°C	124 cm	29,31°C	12,73%	87,27%	3%	97,00%
7	12.09.51	-7.058970, 110.417778		28,5°C	124 cm	29,31°C	12,73%	87,27%	3%	97,00%
8	12.10.13	-7.058971, 110.417770		28,5°C	111 cm	29,31°C	0,91%	99,09%	3%	97,00%
9	12.11.48	-7.059000, 110.417763		28,8°C	117 cm	29,06°C	6,36%	93,64%	1%	99,00%
10	12.13.22	-7.058973, 110.417778		28,8°C	108 cm	29,31°C	1,82%	98,18%	2%	98,00%
Rata – rata							7,4%	92,6%	2%	98%

Pada Tabel 5.6 hasil pengukuran sensor JSN-SR04T berada pada rentang 108 cm hingga 124 cm. Rata-rata persentase error yang diperoleh sebesar 7,40% dengan akurasi rata-rata mencapai 92,6%. Error terkecil sebesar 0,91% diperoleh pada Titik 3, Titik 5, dan Titik 8, sedangkan error terbesar sebesar 12,73% terjadi pada Titik 2, Titik 4, Titik 6, dan Titik 7.



Gambar 5. 13 Grafik Pengujian Pada Kolam Kos

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.13 terlihat bahwa perubahan kedalaman air pada setiap titik pengukuran relatif kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa dasar Kolam Kos memiliki kontur yang rata sehingga tidak terjadi perbedaan kedalaman yang signifikan di sepanjang lintasan kapal. Hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 berada pada rentang 28,5°C hingga 29,31°C, sedangkan hasil pengukuran menggunakan Digital Thermometer berada pada rentang 28,1°C hingga 28,8°C. Perbedaan hasil pengukuran yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor DS18B20 mampu mengukur suhu air dengan hasil yang mendekati alat ukur pembanding.

5.1.7 Pengujian Sistem Pada Kondisi Air Keruh

Pengujian sistem pada kondisi air keruh dilakukan untuk mengetahui kinerja keseluruhan sistem monitoring pada perairan dengan tingkat kekeruhan yang lebih tinggi. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sensor, modul

GPS, komunikasi LoRa, dan sistem kendali kapal dalam kondisi lingkungan yang berbeda dibandingkan pengujian pada air jernih.

Pada Gambar 5.14, Tabel 5.7, dan Gambar 5.15 merupakan hasil pengambilan data dilakukan pada 10 titik pengukuran yang tersebar di area Kolam Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro.



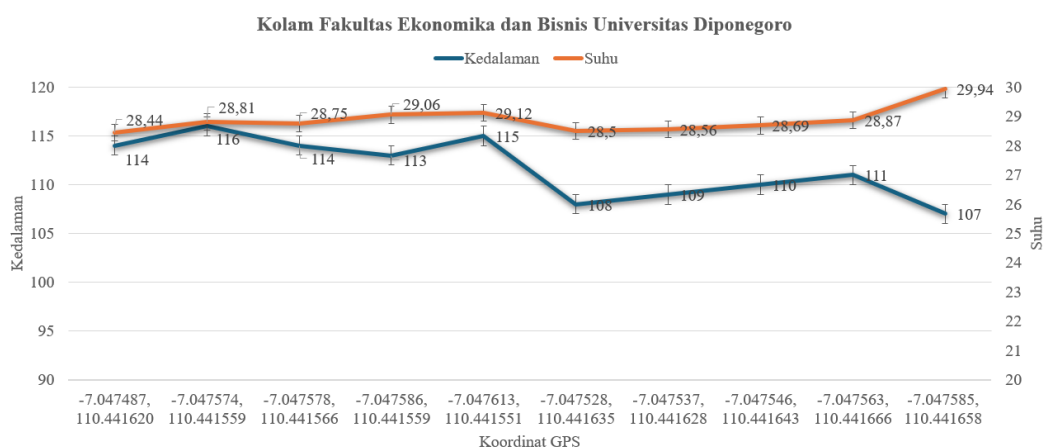
Gambar 5. 14 Sebaran Titik Pengukuran Pada Kolam Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro

Gambar 5.14 merupakan titik koordinat latitude dan longitude pada 10 titik pengambilan data pada Kolam Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro. Terlihat pada gambar titik koordinat dapat terbaca dengan baik, hal ini dikarenakan kondisi area yang terbuka sehingga memudahkan satelit untuk membaca langsung titik koordinat posisi kapal. Walaupun ada titik koordinat yang terbaca pada daratan, karena kapal membaca pada pinggiran kolam saja. Sehingga satelit membaca posisi kapal sedang di darat.

Tabel 5. 7 Kolam Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro

Titik	Waktu	Koordinat	Aktual Kolam	Aktual Suhu	Pengukuran JSN	Pengukuran DS	Error JSN	Akurasi JSN	Error DS	Akurasi DS
1	10.00.45	-7.047487, 110.441620	147 cm	28,9°C	114 cm	28,44°C	22,45%	77,55%	1,59%	98,41%
2	10.07.40	-7.047574, 110.441559		29,2°C	116 cm	28,81°C	21,09%	78,91%	1,34%	98,66%
3	10.08.13	-7.047578, 110.441566		29,3°C	114 cm	28,75°C	22,45%	77,55%	1,88%	98,12%
4	10.08.51	-7.047586, 110.441559		29,4°C	113 cm	29,06°C	23,13%	76,87%	1,16%	98,84%
5	10.09.40	-7.047613, 110.441551		29,6°C	115 cm	29,12°C	21,77%	78,23%	1,62%	98,38%
6	10.12.50	-7.047528, 110.441635		28,9°C	108 cm	28,5°C	26,53%	73,47%	1,38%	98,62%
7	10.13.28	-7.047537, 110.441628		28,9°C	109 cm	28,56°C	25,85%	74,15%	1,18%	98,82%
8	10.14.38	-7.047546, 110.441643		29°C	110 cm	28,69°C	25,17%	74,83%	1,07%	98,93%
9	10.15.59	-7.047563, 110.441666		29,1°C	111 cm	28,87°C	24,49%	75,51%	0,79%	99,21%
10	10.16.53	-7.047585, 110.441658		29,2°C	107 cm	29,94°C	27,21%	72,79%	2,53%	97,47%
Rata – rata							24,01%	75,99%	1,45%	98,55%

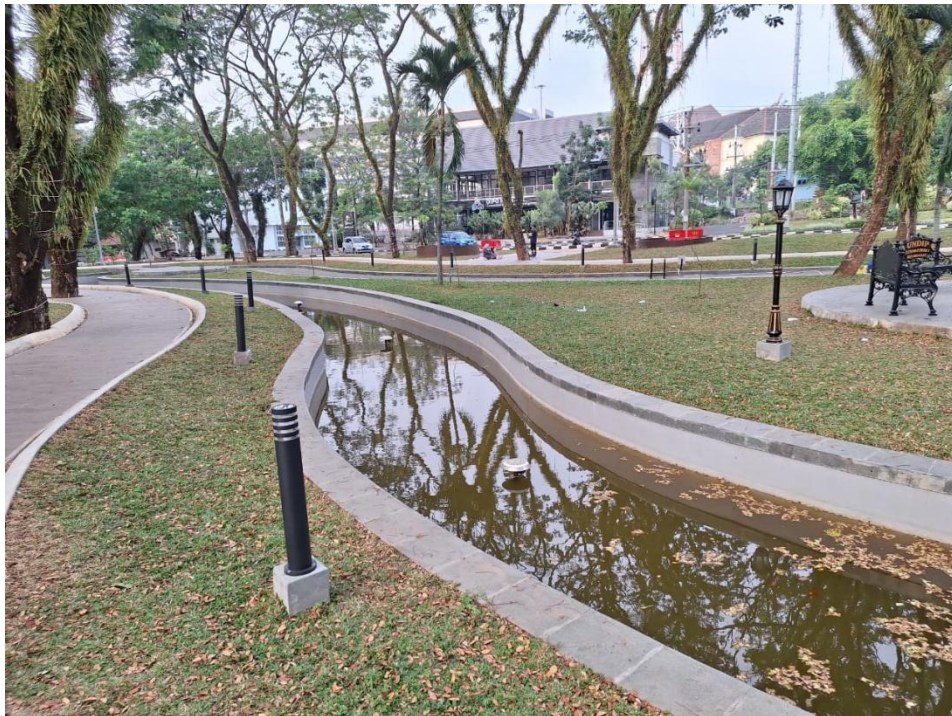
Pada Tabel 5.7, hasil pengukuran berada pada rentang 107 cm hingga 116 cm. Rata-rata persentase error yang diperoleh sebesar 24,01% dengan akurasi rata-rata sebesar 75,99%. Error terkecil sebesar 21,09% diperoleh pada Titik 2, sedangkan error terbesar sebesar 27,21% terjadi pada Titik 10. Nilai error pada kolam ini lebih besar dibandingkan Kolam Kos maupun Kolam Diponegoro Satu. Kondisi tersebut diduga dipengaruhi oleh karakteristik dasar kolam yang tidak merata serta kondisi air yang lebih keruh, sehingga pantulan gelombang ultrasonik menjadi kurang optimal dan menghasilkan variasi pembacaan yang lebih besar.



Gambar 5. 15 Grafik Pengujian Pada Kolam Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15 terlihat bahwa perubahan kedalaman air relatif kecil pada seluruh titik pengukuran, sehingga menunjukkan bahwa dasar kolam memiliki kontur yang cukup rata pada beberapa bagian tertentu. Meskipun pengujian dilakukan pada kondisi air keruh, sensor JSN-SR04T tetap mampu mengukur kedalaman air dengan baik. Hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 berada pada rentang 28,44°C hingga 29,94°C, sedangkan hasil pengukuran menggunakan Digital Thermometer berada pada rentang 29,3°C hingga 30,1°C. Selisih hasil pengukuran yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor DS18B20 masih mampu mengukur suhu air dengan baik pada kondisi air keruh.

Lalu pada Gambar 5.16, Tabel 5.8, dan Gambar 5.17 pengambilan data dilakukan pada 10 titik pengukuran yang tersebar di area Kolam Taman Rumah Kita Universitas Diponegoro. Gambar 5.16 merupakan titik koordinat latitude dan longitude pada 10 titik pengambilan data pada Kolam Taman Rumah Kita Universitas Diponegoro. Sebaran titik pengukuran terlihat berdekatan dan memanjang mengikuti bentuk kolam yang relatif sempit namun memiliki dimensi memanjang. Meskipun jarak antar titik pengukuran tidak terlalu jauh, satelit tetap mampu memperoleh koordinat posisi kapal pada setiap titik pengukuran.

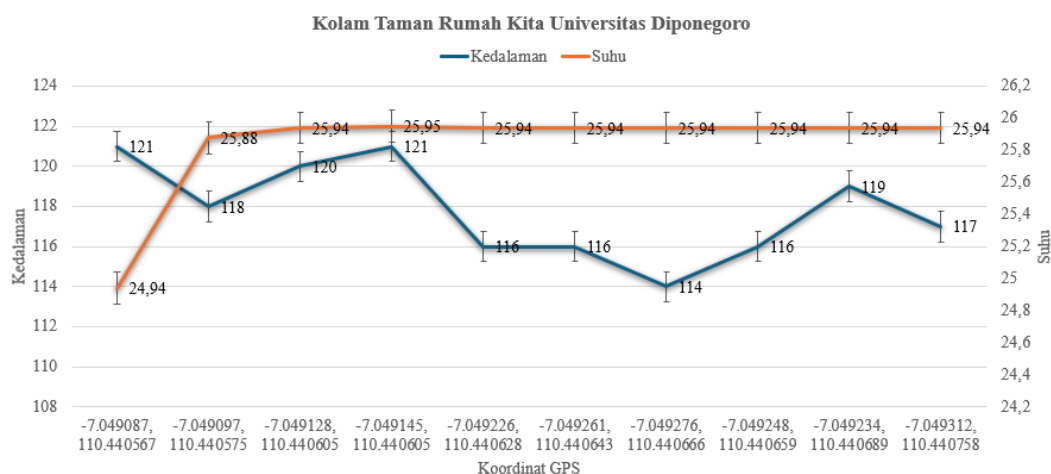


Gambar 5. 16 Sebaran Titik Pengukuran Pada Kolam Taman Rumah Kita

Tabel 5. 8 Kolam Taman Rumah Kita Universitas Diponegoro

Titik	Waktu	Koordinat	Aktual Kolam	Aktual Suhu	Pengukuran JSN	Pengukuran DS	Error JSN	Akurasi JSN	Error DS	Akurasi DS
1	06.02.18	-7.049087, 110.440567	107 cm	25,1°C	121 cm	24,94°C	13,08%	86,92%	0,64%	99,36%
2	06.02.30	-7.049097, 110.440575		25,1°C	118 cm	25,88°C	10,28%	89,72%	3,11%	96,89%
3	06.06.48	-7.049128, 110.440605		25,2°C	120 cm	25,94°C	12,15%	87,85%	2,94%	97,06%
4	06.08.36	-7.049145, 110.440605		25,2°C	121 cm	25,95°C	13,08%	86,92%	2,98%	97,02%
5	06.21.12	-7.049226, 110.440628		25,2°C	116 cm	25,94°C	8,41%	91,59%	2,94%	97,06%
6	06.24.21	-7.049261, 110.440643		25,2°C	116 cm	25,94°C	8,41%	91,59%	2,94%	97,06%
7	06.25.15	-7.049276, 110.440666		25,1°C	114 cm	25,94°C	6,54%	93,46%	3,35%	96,65%
8	06.32.16	-7.049248, 110.440659		25,1°C	116 cm	25,94°C	8,41%	91,59%	3,35%	96,65%
9	06.34.37	-7.049234, 110.440689		25,2°C	119 cm	25,94°C	11,21%	88,79%	2,94%	97,06%
10	06.44.25	-7.049312, 110.440758		25,2°C	117 cm	25,94°C	9,35%	90,65%	2,94%	97,06%
Rata – rata							10,09%	89,91%	2,81%	97,19%

Pada Tabel 5.8, hasil pengukuran berada pada rentang 114 cm hingga 121 cm. Rata-rata persentase error yang diperoleh sebesar 10,09% dengan akurasi rata-rata mencapai 89,91%. Error terkecil sebesar 6,54% diperoleh pada Titik 7, sedangkan error terbesar sebesar 13,08% terjadi pada Titik 1 dan Titik 4. Dibandingkan dengan Kolam Fakultas Ekonomika dan Bisnis yang juga memiliki kondisi air keruh, nilai error pada kolam ini lebih kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan air.



Gambar 5. 17 Grafik Pengujian Pada Kolam Taman Rumah Kita

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17 terlihat bahwa perubahan kedalaman air pada setiap titik pengukuran relatif kecil sehingga menunjukkan bahwa dasar kolam memiliki kontur yang cukup rata. Hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 berada pada rentang 24,94°C hingga 25,95°C, sedangkan hasil pengukuran menggunakan Digital Thermometer menunjukkan suhu sebesar 26,1°C. Perbedaan hasil pengukuran yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor DS18B20 mampu mengukur suhu air dengan hasil yang mendekati alat ukur pembanding.

5.2 Analisa Sistem

Setelah dilakukan serangkaian pengujian terhadap sistem, diperlukan analisa lebih lanjut untuk mengevaluasi kinerja setiap komponen yang digunakan serta integrasi sistem secara keseluruhan. Analisa dilakukan berdasarkan hasil pengujian sensor, komunikasi LoRa, modul GPS, dan sistem kendali remote control yang telah dibahas pada subbab sebelumnya.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada beberapa lokasi perairan dengan kondisi air jernih dan air keruh, sistem mampu melakukan pengukuran serta mengirimkan data hasil monitoring secara real-time melalui komunikasi LoRa. Analisa pada subbab berikut disusun untuk mengevaluasi kinerja masing – masing komponen sistem, meliputi analisa pengukuran kedalaman air, analisa pengukuran suhu air, analisa komunikasi data dan posisi pengukuran, serta analisa kinerja sistem secara keseluruhan.

5.2.1 Analisa Pengukuran Kedalaman Air

Tabel 5. 9 Perbandingan Kedalaman Aktual dan Hasil Pengukuran Sensor

No	Lokasi Pengujian	Kedalaman Aktual	Hasil Pengukuran
1	Kolam Diponegoro Satu	150 – 250 cm	115 – 213 cm
2	Kolam Diponegoro Dua	500 cm	435 – 499 cm
3	Kolam Kos	110 cm	108 – 124 cm
4	Kolam FEB	147 cm	107 – 118 cm
5.	Kolam Taman Rumah Kita	109 cm	114 – 121 cm

Berdasarkan Tabel 5.9 hasil pengujian pada kondisi air jernih dan air keruh, sensor JSN-SR04T mampu melakukan pengukuran kedalaman pada kondisi air jernih dan air keruh. Kedalaman aktual pada Kolam Diponegoro Satu dan Kolam Diponegoro Dua diperoleh berdasarkan informasi yang tertera pada area kolam renang. Sedangkan pada Kolam Kos diperoleh dengan cara mengukur menggunakan meteran yang dicelupkan sampai dasar kolam dan diperoleh kedalaman aktualnya. Lalu, pada Kolam Fakultas Ekonomika dan Bisnis

Universitas Diponegoro dan Kolam Taman Rumah Kita Universitas Diponegoro diperoleh dengan cara mencelupkan batu yang sudah diikat dengan tali lalu diangkat ke permukaan dan kemudian diukur dengan menggunakan meteran dan diperoleh kedalaman aktualnya.

5.2.2 Analisa Kondisi Air Jernih dan Keruh

Tabel 5. 10 Perbandingan Pengukuran pada Kondisi Air Jernih dan Air Keruh

Kondisi	Lokasi	Error JSN	Akurasi JSN	Error DS	Akurasi DS
Air Jernih	Diponegoro 1	14,75%	85,25%	1,03%	98,97%
	Diponegoro 2	19%	81,5%	1,37%	98,63%
	Kos	7,4%	92,6%	2%	98,1%
Rata – rata		13,72%	86,45%	1,47%	98,57%
Air Keruh	FEB	24,01%	75,99%	1,45%	98,55%
	FSM	10,09%	89,91%	2,81%	97,19%
Rata – rata		17,05%	82,95%	2,13%	97,87%

Berdasarkan Tabel 5.10, rata-rata persentase error sensor JSN-SR04T pada kondisi air jernih sebesar 13,72% dengan akurasi rata-rata 86,45%, sedangkan pada kondisi air keruh diperoleh rata-rata persentase error sebesar 17,05% dengan akurasi rata-rata 82,95%. Selisih rata-rata error sebesar 3,33% dan selisih akurasi sebesar 3,50% menunjukkan bahwa hasil pembacaan sensor pada kondisi air jernih cenderung lebih baik dibandingkan pada kondisi air keruh. Meskipun demikian, perbedaan tersebut juga dipengaruhi oleh karakteristik dasar kolam, kedalaman pengukuran, serta kualitas pantulan gelombang ultrasonik pada masing-masing lokasi pengujian.

Pada sensor DS18B20 diperoleh rata-rata persentase error sebesar 1,47% pada kondisi air jernih dengan akurasi rata-rata 98,57%, sedangkan pada kondisi air keruh diperoleh rata-rata persentase error sebesar 2,13% dengan akurasi rata-rata 97,87%. Selisih rata-rata error sebesar 0,66% dan selisih akurasi sebesar 0,70% menunjukkan bahwa perubahan kondisi kejernihan air hanya memberikan pengaruh yang kecil terhadap hasil pengukuran suhu. Hal ini disebabkan sensor DS18B20

bekerja berdasarkan kontak langsung dengan media air sehingga hasil pengukurannya tidak dipengaruhi secara langsung oleh tingkat kejernihan air.

5.2.3 Analisa Pengukuran Suhu Air

Pengukuran suhu air dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor DS18B20 terhadap hasil pengukuran menggunakan Digital Thermometer sebagai alat ukur pembanding. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor DS18B20 dalam mengukur suhu air pada berbagai lokasi pengujian. Parameter yang dianalisis meliputi selisih hasil pengukuran, persentase error, dan nilai akurasi yang diperoleh dari masing – masing lokasi pengujian, sehingga dapat diketahui kinerja sensor DS18B20 pada sistem monitoring yang dirancang.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Suhu

Lokasi	DS18B20	Digital Thermometer	Rata-rata Error	Akurasi
Diponegoro 1	25,88 – 26,06°C	26,2 – 26,3°C	1,03%	98,97%
Diponegoro 2	29 – 29,44°C	29,4 – 29,5 °C	1,37%	98,63%
Kos	28,5 – 29,31°C	28,1 – 28,8 °C	2%	98%
FEB	28,44 – 29,94 °C	28,9 – 29,6°C	1,45%	98,55%
FSM	24,94 – 25,95°C	25,1 – 25,2 °C	2,81%	97,19%

Berdasarkan Tabel 5.11, hasil pengukuran suhu menggunakan sensor DS18B20 dibandingkan dengan Digital Thermometer menunjukkan rata-rata persentase error berkisar antara 1,03% hingga 2,81% dengan tingkat akurasi antara 97,19% hingga 98,97%. Error terkecil diperoleh pada Kolam Diponegoro Satu sebesar 1,03%, sedangkan error terbesar diperoleh pada Kolam Taman Rumah Kita sebesar 2,81%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor DS18B20 mampu mengukur suhu air dengan tingkat akurasi yang baik karena seluruh nilai error masih berada di bawah 3%. Perbedaan hasil pengukuran diduga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, waktu pengambilan data, serta intensitas penyinaran matahari pada masing-masing lokasi pengujian.

5.2.4 Analisa Komunikasi Data dan Posisi Pengukuran

Berdasarkan hasil pengujian komunikasi LoRa pada Tabel 5.1, data monitoring yang meliputi kedalaman air, suhu air, dan koordinat GPS berhasil dikirim dan diterima dengan baik hingga jarak 400 meter. Pada jarak 450 meter dan 478 meter komunikasi tidak dapat dilakukan sehingga receiver tidak menerima data yang dikirim oleh transmitter. Hal ini menunjukkan bahwa komunikasi LoRa E220-900T22D memiliki jangkauan efektif sekitar 400 meter pada kondisi area terbuka dan dengan menggunakan jenis antenna yang berbeda. Kemampuan tersebut sudah sangat mencukupi untuk mendukung proses monitoring perairan menggunakan kapal remote control.

Selain komunikasi data, pengujian modul GPS pada Tabel 5.3 juga menunjukkan bahwa sistem mampu memperoleh koordinat lokasi pada seluruh titik pengujian. Hasil perbandingan dengan Google Maps menunjukkan bahwa sebagian besar titik memiliki selisih koordinat yang relatif kecil. Meskipun terdapat satu titik dengan selisih yang cukup besar, secara umum modul GPS masih mampu memberikan informasi posisi yang dapat digunakan untuk menunjukkan lokasi pengukuran kedalaman air. Dengan adanya informasi koordinat tersebut, setiap data hasil monitoring dapat dikaitkan dengan lokasi pengambilan data sehingga memudahkan proses identifikasi kondisi perairan yang diamati.

5.2.5 Analisa Kinerja Sistem Secara Keseluruhan

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Kinerja Sistem

No	Parameter	Hasil
1	Rentang kedalaman terukur	107 – 499 cm
2	Rentang suhu terukur	24,94 – 29,31 °C
3	Jarak efektif komunikasi LoRa	400 meter
4	Jarak efektif remote control	64 meter
5	Akurasi koordinat GPS	Berhasil
6	Pengiriman data secara real-time	Berhasil
7	Pengujian pada air jernih	Berhasil
8	Pengujian pada air keruh	Berhasil

Berdasarkan Tabel 5.12 sistem monitoring yang dirancang mampu menjalankan seluruh fungsi utama sesuai dengan tujuan penelitian. Sensor JSN-SR04T berhasil mengukur kedalaman air pada rentang 107 cm hingga 499 cm, sedangkan sensor DS18B20 mampu mengukur suhu air pada rentang 24,94°C hingga 29,31°C. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor mampu bekerja dengan baik pada kondisi air jernih maupun air keruh, meskipun pembacaan pada air jernih cenderung lebih stabil dibandingkan pada air keruh akibat karakteristik pantulan gelombang ultrasonik yang lebih baik.

Data hasil pengukuran berhasil dikirim menggunakan komunikasi LoRa dan diterima oleh receiver secara real-time hingga jarak efektif 400 meter. Sementara itu, remote control mampu mengendalikan pergerakan kapal secara stabil hingga jarak 64 meter. Selain itu, modul GPS juga berhasil memperoleh koordinat lokasi pada seluruh titik pengujian sehingga setiap data kedalaman dan suhu air dapat dikaitkan dengan lokasi pengukurannya.

Hasil pengujian pada kondisi air jernih maupun air keruh menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem dapat bekerja secara bersamaan tanpa mengalami gangguan yang signifikan. Integrasi antara sensor, modul GPS, komunikasi LoRa, dan sistem kendali kapal memungkinkan proses monitoring perairan dilakukan secara real-time sehingga data kondisi perairan dapat diperoleh secara lebih efektif dibandingkan metode pengukuran manual.